



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciência

Faculdade de Engenharia

Priscila Falcão de Sá Borba

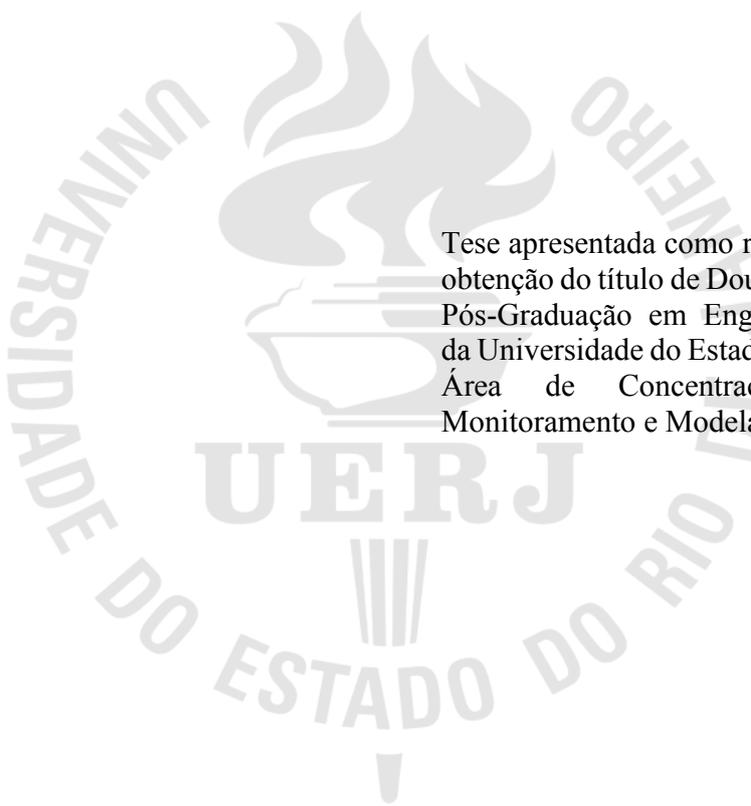
**Avaliação das emissões e dispersões atmosféricas de aterros de disposição final
de resíduos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2022

Priscila Falcão de Sá Borba

Avaliação das emissões e dispersões atmosféricas de aterros de disposição final de resíduos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro



Tese apresentada como requisito final para a obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Diagnóstico, Monitoramento e Modelagem Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Elisabeth Ritter

Coorientador: Prof. Dr. Sergio Machado Corrêa

Rio de Janeiro

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

B726 Borba, Priscila Falcão de Sá.
Avaliação das emissões e dispersões atmosféricas de aterros de
disposição final de resíduos na região metropolitana do Rio de Janeiro /
Priscila Falcão de Sá Borba. – 2022.
244f.

Orientadora: Elisabeth Ritter.
Coorientador: Sergio Machado Corrêa.
Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Aterro sanitário - Teses. 3. Gases
do efeito estufa - Teses. 4. Ar - Poluição - Teses. 5. Direito ambiental -
Teses. I. Ritter, Elisabeth. II. Corrêa, Sérgio Machado. III. Universidade
do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 614.72

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde
que citada a fonte.



Assinatura

18/04/2022

Data

Priscila Falcão de Sá Borba

Avaliação das emissões e dispersões atmosféricas de aterros de disposição final de resíduos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Tese apresentada como requisito final para a obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Diagnóstico, Monitoramento e Modelagem Ambiental.

Aprovado em 10 de fevereiro de 2022.

Banca Examinadora:

Elisabeth Ritter

Prof^a. DSc. Elisabeth Ritter (Orientadora)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Sergio Machado Corrêa

Prof. DSc. Sergio Machado Corrêa (Coorientador)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Cleyton Martins da Silva

Prof. Dr. Cleyton Martins da Silva
Universidade Veiga de Almeida (UVA)

Débora S. Alvim

Prof^a. Dr^a. Débora Souza Alvim
Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)

Veruschka Escarião Dessoles Monteiro

Prof^a. Dr^a. Veruschka Escarião Dessoles Monteiro
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Daniele Maia Bila

Prof^a. DSc. Daniele Maia Bila
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Rio de Janeiro

2022

AGRADECIMENTOS

Gosto de pensar que Deus usa as almas para ajudar outras almas a encontrarem seus caminhos, a perceberem seus erros e a conquistarem suas vitórias. E essa Tese é só mais uma prova disso.

Então agradeço muito a todos que acreditaram que essa conquista era possível mesmo quando eu nem pensava mais nela. E foram muitos, meu marido Marcelo, minha sogra Rita, meus queridos professores Beth e Sergio.

Graças aos seus incentivos, cobranças e questionamentos, o trabalho e o texto foram finalizados.

Mas, sobretudo, agradeço individualmente a cada um:

Marcelo que além de tudo, houve meus lamentos e minhas conquistas diárias, faz almoço, distrai a criança... Enfim, ajuda a me manter equilibrada física e psicologicamente para que tudo corra bem.

Meus sogros Rita e Luiz, que além do incentivo, ficaram inúmeras vezes com meu filho para que eu pudesse estudar.

Agradeço aos meus pais, que além terem me dado a vida - essa oportunidade maravilhosa de ser um espírito melhor - sempre que possível me ajudaram nas demandas com o filho.

Além de todos da família, tive ajuda de pessoas inteligentíssimas, e que sem eles essa Tese não seria possível.

Eric, meu amigo maravilhoso, arrasa na programação, craque nos mapas, veio na minha casa me ensinar, formatou inúmeros arquivos usando seus conhecimentos e cérebro genial.

Jean foi meu estagiário, hoje trabalhamos juntos na Prefeitura. Sua entrada no mestrado do PEAMB fez reacender a chama da pesquisa em mim. Desde então conto com ele, porque sei que escuta minhas dificuldades e se empenha em me ajudar a resolvê-las.

Paulinha me apresentou um grupo de mães pesquisadoras, me incentivou e me mostrou que era possível.

Iago, aluno de IC, me ajudou prontamente inúmeras vezes, sempre disposto.

Agradeço muito, também, a alguns professores da UERJ que fizeram parte da minha trajetória, mas que mais do que isso, me transformaram, me iluminaram e transferiram seus saberes com todo o amor.

Muito obrigada Eduardo pela história que construímos no mestrado e por sempre mostrar seu ponto de vista, puxando para cima, mostrando que é possível fazer melhor.

João, querido, com ideias maravilhosas, documentos importantíssimos direto do fundo do baú, palavras amigas, motivadoras.

Sergio, meu coorientador, sempre positivo, cérebro incrível, sempre com resoluções rápidas e simples. Acreditou em mim até o fim, me incentivando, muito obrigada querido professor!!

Beth, minha mãezona, minha protetora, minha amiga, juntas há dez anos, posso dizer que te amo. Mulher especial, que tem olhar especial para cada aluno, que respeita as possibilidades e as realidades de cada um. O tempo todo me puxando, acreditando, motivando.

Gratidão pelos inúmeros sonhos que tive, com diversos ensinamentos sobre os questionamentos que tinha na mente em cada época. Ideias e mais ideias foram construídas durante meus sonhos, tabelas, mapas, blocos de notas e mais blocos de notas.

Por fim, quero dizer que independente dessa Tese, me sinto vitoriosa em saber e sentir a reciprocidade dos bons sentimentos que cultivei com todas essas pessoas, pois é isso que a gente leva da vida, o amor.

Obrigada a todos mais uma vez e obrigada a Deus por nossas vidas.

Que assim seja, assim é e assim será.

RESUMO

BORBA, P. F. de S. *Avaliação das emissões e dispersões atmosféricas de aterros de disposição final de resíduos na região metropolitana do Rio de Janeiro*. 2022. 244f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

O biogás produzido através da degradação de resíduos em aterros sanitários tem, dentre seus componentes, gases indutores do aumento do efeito estufa (CH_4 e CO_2) e gases potencialmente tóxicos (compostos orgânicos voláteis). Por este motivo, a emissão através da camada de cobertura tem sido extensivamente estudada e avaliada. Contudo, ainda são poucas as pesquisas que buscam conhecer as tendências de dispersão destes gases na atmosfera, de forma a avaliar as concentrações destes poluentes nos arredores dos aterros. Sendo assim, a presente pesquisa tem como objetivo averiguar o padrão de dispersão atmosférica dos gases emitidos através da camada de cobertura de solo intermediária do Aterro Controlado de Gramacho (ACG) e do Aterro Sanitário de Seropédica (ASS), aterros de grande porte localizados na região metropolitana do Rio de Janeiro. Para tanto, foram coletadas amostras utilizando câmara de fluxo, e estas foram analisadas por cromatografia gasosa. Foram analisadas as taxas de emissão de CH_4 , CO_2 e BTEX para o aterro de Seropédica e CH_4 , CO_2 , N_2O , CO, BTEX e HC (C6 a C12) para o aterro de Gramacho. Para avaliação da dispersão foi utilizado o modelo matemático AERMOD. A taxa média de emissão de CH_4 no ACG foi 5,4 vezes maior e a de COV foi 1,33 maior do que a encontrada no ASS. A existência de fissuras na camada de cobertura do ASS fez com que as emissões máximas de GEE e BTEX fossem maiores do que as observadas no ACG. Foi observada uma correlação na emissão de CO_2 e CH_4 , contudo não houve correlação destes gases com todos os BTEX, indicando que possuem fontes diferentes e variáveis diferentes que influenciam na sua emissão para a atmosfera. As relações observadas entre os BTEX indicam uma origem comum destes compostos. No ACG foi observado ainda que o CO e a temperatura do arestão correlacionados com os GEE e os HC com os BTEX. A dispersão dos poluentes demonstrou maiores concentrações nas regiões ao redor dos aterros, principalmente nas direções predominantes para onde correm os ventos. Com exceção das concentrações de CH_4 , todas as concentrações obtidas com as modelagens ficaram abaixo das concentrações de estações de monitoramento do INEA e de outras pesquisas de avaliaram a qualidade do ar no Rio de Janeiro. Contudo, foi observado que os poluentes emitidos nos aterros contribuem para o aumento das concentrações atmosféricas, demonstrando a importância de que as emissões através da camada de cobertura de aterros sejam legisladas e delimitadas durante e após a operação. Este fato torna-se ainda mais relevante ao analisar o número de aterros de resíduos sólidos existentes na RMRJ.

Palavras-chave: Aterro sanitário. Emissão. GEE, BTEX. Dispersão. Legislação ambiental. Impacto ambiental. Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

ABSTRACT

BORBA, P. F. de S. *Assessment of emissions and atmospheric dispersions from landfills for final disposal waste in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro*. 2022. 244f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

Biogas produced due to waste degradation in landfills, among its components, gases that induce the increase of the greenhouse effect (CH₄ and CO₂) and potentially toxic gases (VOCs). Thus, the emission through the cover layer has been extensively studied. However, there are few research about dispersion trends of these gases in the atmosphere, in order to assess the concentrations of these pollutants in the surroundings of landfills. For this reason, the present study aims to investigate the atmospheric dispersion of the gases emitted through the intermediate soil cover layer of the Gramacho and the Seropédica landfill, large landfills located in the metropolitan region of Rio de Janeiro. For this, samples were collected using a flow chamber, and were analyzed by gas chromatography. The emission rates were analyzed of CH₄, CO₂ and BTEX for the Seropédica landfill and CH₄, CO₂, N₂O, CO, BTEX and HC (C₆ a C₁₂) for the Gramacho landfill. To verify the dispersion, was used the mathematical model AERMOD. The average CH₄ emission rate in the ACG was 5,4 times higher and the VOC was 1,33 times higher than that found in the ASS. The existence of cracks in the ASS cover layer caused the maximum GHG and VOC emissions to be higher than those observed in the ACG. The emissions showed that CO₂ and CH₄ are strongly correlated, however there is no correlation of these gases with all BTEX, indicating that they have different sources and different variables that influence their emission to the atmosphere. The relationships observed between the BTEX indicate a common origin of these compounds. In the ACG, it was also observed that CO and air temperature are correlated with GHGs and HC with BTEX. The dispersion of pollutants showed higher concentrations in the regions around the landfills, mainly in the predominant directions where the winds run. Except for CH₄ concentrations, all concentrations obtained with the modeling were below the concentrations of INEA monitoring stations and other surveys that evaluated air quality in Rio de Janeiro. However, was observed that the pollutants emitted in landfills contribute to the increase atmospheric concentrations, demonstrating the importance that emissions through the landfill cover layer are legislated and delimited during and after the landfill operation. This fact becomes even more relevant when analyzing the number of solid waste landfills in the RMRJ.

Keywords: Landfill. Emission. GHG. BTEX. Dispersion. Environmental legislation. Environmental impact. Metropolitan Region of Rio de Janeiro.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Representação esquemática de um aterro sanitário, de um aterro controlado e de um lixão.	20
Figura 2. Localização dos aterros sanitários em operação na RMRJ.	23
Figura 3. Representação do fluxo de ar em relação ao tipo de terreno.....	37
Figura 4. Localização do ASS.	44
Figura 5. Células do ASS.	46
Figura 6. Localização do ACG.	50
Figura 7. Localização dos pontos P1, P2 e P3 no ACG.	54
Figura 8. Imagem do ponto P3.	55
Figura 9. Imagem do ponto de coleta de amostras no ACG.....	55
Figura 10. Medidor portátil termo-higro-anemometro-luxímetro digital.....	57
Figura 11. Localização da estação Meteorológica Automática Seropédica-Ecológica Agrícola..	58
Figura 12. Localização da estação do aeroporto SBSC.....	59
Figura 13. Localização da Estação Meteorológica Automática Duque de Caxias – Xerém.	59
Figura 14. Localização da estação do aeroporto SBGL.	60
Figura 15. Localização do pontos amostrados na célula 1 do ASS.....	61
Figura 16. Imagens das fissuras na camada de cobertura intermediária do ASS.	63
Figura 17. Ilustração esquemática da coleta de GEE no ASS.	64
Figura 18. Cromatógrafo gasoso utilizado para análise de GEE.	65
Figura 19. Resumo do método de coleta e análise de amostras de GEE no ASS.....	66
Figura 20. Ilustração esquemática da coleta de BTEX no ASS.	67
Figura 21. Resumo do método de coleta e análise de amostras de BTEX no ASS.....	68
Figura 22. Cromatógrafo gasoso e espectrômetro de massas utilizados para análise de BTEX. ..	68
Figura 23. Imagem da região de coleta das amostras no ACG.....	70
Figura 24. Ilustração esquemática da coleta de GEE, CO, BTEX e HC no ACG.	71
Figura 25. Exemplo do cromatograma obtido para os HC no ACG.	72
Figura 26. Resumo do método de coleta e análise de amostras de CO, GEE, BTEX E HC no ACG.	73

Figura 27. Descrição do modelo AERMOD.	78
Figura 28. Fluxograma com dados de entrada para modelagem de dispersão de pluma no ASS e no AGC.....	79
Figura 29. Rosa dos Ventos – Estação Meteorológica A601 – maio de 2014 a abril de 2015.....	82
Figura 30. Distribuição das classe de ventos para o ASS.....	83
Figura 31. Área delimitada ao redor do ASS para busca de dados topográficos.	84
Figura 32. Mapa dos pontos de dados topográficos levantados ao redor do ASS.....	84
Figura 33. Taxas de emissão de metano em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ do ASS.	86
Figura 34. Taxas de emissão de dióxido de carbono em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ do ASS.	86
Figura 35. Resumo das emissões de GEE do ASS.....	88
Figura 36. Taxas de emissão de BTEX em $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ do ASS.....	89
Figura 37. Resumo das emissões de BTEX do ASS.	91
Figura 38. Matriz de correlação dos resultados do ASS.....	92
Figura 39. Localização dos receptores em relação ao ASS.....	94
Figura 40. Concentrações obtidas na pluma de dispersão considerando o periodo de 8 h e taxa de emissão média de GEE para o ASS.....	95
Figura 41. Concentrações obtidas na pluma de dispersão considerando o periodo de 8 h e taxa de emissão média de CH_4 para o ASS.....	98
Figura 42. Relação entre as concentrões de CH_4 para condição de emissão máxima e a Estação de monitoramento de Piranema.....	100
Figura 43. Relação entre as concentrões de CH_4 para condição de emissão média e a Estação de monitoramento de Piranema.....	100
Figura 44. Concentrações obtidas na pluma de dispersão considerando o periodo de 8 h e taxa de emissão máxima de BTEX para o ASS.....	103
Figura 45. Representação da pluma de dispersão de BTEX e da rosa dos ventos no ASS.....	104
Figura 46. Rosa dos Ventos – Estação Meteorológica A603 – janeiro a dezembro de 2011.....	108
Figura 47. Distribuição das classes de vento para ACG.....	108
Figura 48. Área delimitada ao redor do ACG para busca de dados topográficos.	109
Figura 49. Mapa dos pontos de dados topográficos levantados ao redor do ACG.....	110
Figura 50. Taxas de emissão de CO em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ do ACG.	111
Figura 51. Taxas de emissão de CO_2 em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ do ACG.	112

Figura 52. Taxas de emissão de CH ₄ em g m ⁻² dia ⁻¹ do ACG.	112
Figura 53. Taxas de emissão de N ₂ O em mg m ⁻² dia ⁻¹ do ACG.....	113
Figura 54. Taxas de emissão de hidrocarbonetos em µg m ⁻² dia ⁻¹ do ACG.....	115
Figura 55. Taxas de emissão de BTEX em µg m ⁻² dia ⁻¹ do ACG.	116
Figura 56. Resumo das emissões do ACG.	117
Figura 57. Matriz de correlação de Pearson dos resultados do ACG.....	120
Figura 58. Análise dos componentes principais do ACG.....	121
Figura 59. Localização dos receptores em relação ao ACG.....	124
Figura 60. Concentrações obtidas na pluma de dispersão para o período de 8 h e taxa de emissão média de GEE para o ACG.....	125
Figura 61. Concentrações obtidas na pluma de dispersão para o período de 8 h e taxa de emissão média de CH ₄ para o ACG.	127
Figura 62. Relação entre as concentrações de CH ₄ para condição de emissão média e Estações de monitoramento de Campos Elíseos, Ilha do Governador e IPCC.	128
Figura 63. Representação da pluma de dispersão de CO e da rosa dos ventos no ACG.....	133
Figura 64. Relação entre as concentrações de CO para condição de emissão média e Estações de monitoramento de Campos Elíseos e Ilha do Governador.	134
Figura 65. Emissão em massa de GEE e CO.....	140
Figura 66. Emissão em massa de BTEX e HC.....	140
Figura 67. Comparação da relação da emissão dos BTEX com outros estudos.....	143
Figura 68. Aterros da RMRJ.	147

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Escala de porte em função da comunidade atendida e taxa de deposição média diária segundo Cunha (2019).....	22
Quadro 2. Classificação do porte dos aterros sanitários em operação na RMRJ.	22
Quadro 3. Percentuais de gases formados em aterros sanitários.	28
Quadro 4. Compostos Traços encontrados em gases de aterros sanitários, considerados com alto potencial de contribuição para o impacto toxicológico.	28
Quadro 5. Resultados de emissão de metano em diferentes literaturas.....	30
Quadro 6. Resultados de taxas de emissão de BTEX em diferentes aterros sanitários.	35
Quadro 7. Caracterização do solo empregado como camada de cobertura intermediária.....	47
Quadro 8. Principais impactos gerados pelo aterro segundo o RIMA-ASS.....	48
Quadro 9. Quantitativos de resíduos destinados ao ACG, segundo outras literaturas.	51
Quadro 10. Lista de resíduos industriais dispostos no ACG.	51
Quadro 11. Caracterização do solo empregado como camada de cobertura intermediária do ACG.	56
Quadro 12. Dados de campanha do pontos amostrados no ASS.....	62
Quadro 13. Limites de detecção e quantificação das curvas analíticas de GEE 65	65
Quadro 14. Limites de detecção e quantificação das curvas de calibração de BTEX..... 69	69
Quadro 15 . Resumo das caracteristicas metodológicas aplicadas no ASS e no ACG. 72	72
Quadro 16. Valores de albedo, razão de Bowen e rugosidade para uso do solo e estações do ano. 76	76
Quadro 17. Resumo das características meteorológicas do aterro nos dias de coleta de amostras com o medidor portátil. 81	81
Quadro 18. Resumo dos parâmetros meteorológicos da Estação A601..... 83	83
Quadro 19. Coordenadas e altimetria de pontos da área próxima ao ASS..... 85	85
Quadro 20. Resultados de emissão de GEE na camada de cobertura intermediária do ASS..... 87	87
Quadro 22. Resultados de emissão de BTEX na camada de cobertura intermediária do ASS. 89	89
Quadro 24. Dados dos pontos receptores do ASS..... 93	93
Quadro 25. Resultados de dispersão para emissões máxima, média e mínima de GEE no ASS.. 94	94

Quadro 26. Resultados de dispersão para emissões máxima e média de CH ₄ no ASS.....	97
Quadro 27. Resultados de dispersão para emissão máxima de COV no ASS.....	101
Quadro 28. Comparação das concentrações de BTEX do ASS com outras pesquisas.	105
Quadro 29. Dados meteorológicos observados no ACG no aparelho portátil.....	106
Quadro 30. Resumo dos parâmetros meteorológicos da Estação A603.....	108
Quadro 31. Coordenadas e altimetria de pontos da área próxima ao ACG.....	110
Quadro 32. Resumo das emissões de CO e GEE na camada de cobertura intermediária do ACG.	111
Quadro 34. Resumo das emissões de HC (C6 a C12) e BTEX na camada de cobertura intermediária do ACG.....	114
Quadro 36. Dados dos pontos receptores do ACG.....	122
Quadro 37. Resultados de dispersão para emissão máxima, média e mínima de GEE no ACG.	122
Quadro 38. Resultados de dispersão para emissões máxima, média e mínima de CH ₄ no ACG.	125
Quadro 39. Comparação das concentrações de COV do ACG com outras pesquisas.	131
Quadro 40. Resumo das características do ASS e do ACG.....	135
Quadro 41. Resumo das características de solo do ASS e do ACG.	136
Quadro 42. Resumo das emissões dos ASS e ACG.	138
Quadro 43. Taxas de emissão de metano dos ASS, ACG e outros trabalhos.....	141
Quadro 44. Resumos das características meteorológicas e topográficas do ASS e do ACG.	145
Quadro 45. Maiores concentrações encontradas para ASS e ACG.....	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ACG – Aterro Controlado de Jardim Gramacho

AIA - Avaliação de Impactos Ambientais

ASS – Aterro Sanitário de Seropédica

BTEX - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos

CBL – Convectiveboundarylayer

CFD - Fluidodinâmica Computacional

CG – Cromatógrafo de fase gasosa

COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio de Janeiro

COV - Compostos orgânicos voláteis

CTR - Centra de Tratamento de Resíduos

DBO - Demanda bioquímica de oxigênio

DQO - Demanda química de oxigênio

DRX – Difractometria de raio X

EIA - Estudo de impacto ambiental

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA - Environmental Protection Agency

EUA - Estados Unidos da América

FUNDREM - Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana

GCL – Liner Geocinético de Argila

GEE - Gases de efeito estufa

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IEM – IOWA Environmental Mesonet

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INEA - Instituto Estadual do Ambiente

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

ISCST3 - Industrial Source Complex Short Term 3

MDE - Modelo Digital de Elevação

NBR - Normas Brasileiras de Referência

OSPM - Operational Street Pollution Model

PEAD - Polietileno de alta densidade

PNMA - Política Nacional de Meio Ambiente

RCRA - Resource Conservation and Recovery Act

RIMA - Relatório de impacto ambiental

RMRJ – Região metropolitana do Rio de Janeiro

RSU – Resíduos sólidos urbanos

SBL – Stateboundarylayer

SCRAM - Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling

SMAC - Secretaria Municipal de Meio Ambiente

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

SUCS - Sistema Unificado de Classificado dos Solos

U.S.EPA - United States Environmental Protection Agency

UTM – Universal Transverse Mercator

SUMARIO

INTRODUÇÃO	16
OBJETIVOS	18
OBJETIVO GERAL	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	19
1.1. NORMAS E LEGISLAÇÕES DE ATERROS SANITÁRIOS	23
1.2. LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE ATERROS SANITÁRIOS	26
1.3. GASES DE ATERROS SANITÁRIOS	27
1.4. GASES TRAÇO	28
1.5. EMISSÃO DE GASES PELA CAMADA DE COBERTURA DE ATERROS SANITÁRIOS	30
1.6. EMISSÃO DE GASES TRAÇO	32
1.7. DISPERSÃO DOS GASES NA ATMOSFERA	35
1.8. MODELOS DE CÁLCULO DA DISPERSÃO	38
<i>1.8.1. Modelos Lagrangeano e Eulerianos</i>	<i>39</i>
<i>1.8.2. Modelos Gaussianos</i>	<i>40</i>
<i>1.8.3. Modelo Caixa</i>	<i>42</i>
<i>1.8.4. Modelos baseados em Fluidodinâmica Computacional (CFD)</i>	<i>43</i>
2. METODOLOGIA	44
2.1. CARACTERÍSTICAS DO ATERRO SANITÁRIO DE SEROPÉDICA (ASS)	44
<i>2.1.1. Caracterização do solo utilizado como camada de cobertura intermediária</i>	<i>46</i>
<i>2.1.2. Licenciamento e emissão dos gases do ASS</i>	<i>48</i>
2.2. CARACTERÍSTICAS DO ATERRO CONTROLADO DE JARDIM GRAMACHO (ACG)	49
<i>2.2.1. Caracterização do solo utilizado como camada de cobertura intermediária</i>	<i>53</i>
2.3. DADOS METEOROLÓGICOS	57
2.4. DADOS TOPOGRÁFICOS	60
2.5. DADOS DE EMISSÃO	61
<i>2.5.1. ASS</i>	<i>61</i>
<i>2.5.2. ACG</i>	<i>69</i>

2.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS DE EMISSÃO.....	73
2.7. DESCRIÇÃO DO MODELO DE DISPERSÃO UTILIZADO: AERMOD.....	74
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
3.1. ATERRO SANITÁRIO DE SEROPÉDICA.....	81
3.1.1. <i>Dados meteorológicos</i>	<i>81</i>
3.1.2. <i>Dados topográficos</i>	<i>84</i>
3.1.3. <i>Dados de emissão</i>	<i>85</i>
3.1.4. <i>Resultados de dispersão</i>	<i>93</i>
3.2. ATERRO CONTROLADO DE GRAMACHO.....	106
3.2.1. <i>Dados meteorológicos</i>	<i>106</i>
3.2.2. <i>Dados topográficos</i>	<i>109</i>
3.2.3. <i>Dados de emissão</i>	<i>111</i>
3.2.1. <i>Resultados de dispersão</i>	<i>121</i>
3.3. COMPARAÇÃO ENTRE ATERROS	135
4. CONCLUSÕES	149
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	151
REFERENCIAS	152
APÊNDICE I – SCRIPT DA LINGUAGEM R	163
APÊNDICE II – ARQUIVO DE ENTRADA DO AERMOD.....	165
APÊNDICE III – CURVAS ANALÍTICAS DAS ANÁLISES QUÍMICAS	168
APÊNDICE IV – ARQUIVO DE SAÍDA DO AERMOD.....	172
APÊNDICE V – PLUMAS DE DISPERSÃO DO ASS	214
APÊNDICE VI – RESULTADOS DE EMISSÃO DO ACG	225
APÊNDICE VII – PLUMAS DE DISPERSÃO DO ACG.....	228
APÊNDICE VIII – PUBLICAÇÕES DO GRUPO DE PESQUISA	244

INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários podem ser considerados grandes reatores bioquímicos, tendo como principais matérias prima os resíduos sólidos e a água pluvial, e como produtos o lixiviado e os gases (TCHOBANOGLOUS, 1993).

O produto gasoso gerado pela degradação dos resíduos é chamado biogás, o qual se caracteriza pela mistura de gases, tais como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), hidrogênio (H_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S), entre outros (GOUVELLO, 2010).

Além destes gases gerados pela degradação dos resíduos, existem outros, presentes em menor quantidade, também chamados de gases traço (UK EA, 2002) e que abrangem pequenas quantidades de álcoois, hidrocarbonetos aromáticos, compostos halogenados e de enxofre, dentro outros (DURMUSOGLU; FATIH; KARADEMIR, 2010).

A fim de conter a passagem de gases para a atmosfera, devido à decomposição dos resíduos em aterros sanitários, foram desenvolvidas estruturas de cobertura (STAUB *et al.*, 2011) as quais podem ser constituídas de diferentes técnicas, dentre elas, ade solo, comumente chamados de camadas monolíticas, e as de materiais sintéticos, usualmente geomembranas de PEAD. As camadas monolíticas de solo são muito utilizadas como camada de cobertura intermediária e final e os materiais sintéticos como camada de cobertura final, contudo, também podem ser utilizados como camadas intermediárias.

Devido à função que desempenham, as camadas de cobertura são componentes “chave” no projeto estrutural de aterros. Porém, para que possam desempenhar seu papel de maneira efetiva, estas devem possuir uma série de características, tais como baixa permeabilidade à água e ao ar e durabilidade ao longo do tempo (MARIANO, 2008).

As camadas de cobertura executadas durante o período de operação dos aterros são chamadas de coberturas intermediárias e após o encerramento das atividades são conhecidas como cobertura final. As primeiras geralmente têm menor espessura e são removidas sempre que há necessidade de disposição de novos resíduos (DAMASCENO, 2018).

Contudo, mesmo com a aplicação destas estruturas, emissões de gases podem ser verificadas em diversos aterros (OLIVEIRA, 2013; LAKHOUIT *et al.*, 2014; SPOKAS *et al.*, 2006; CHAKRABORTY *et al.*, 2011; CHIRIAC *et al.*, 2009). No que diz respeito aos aterros de grande porte, as emissões podem ser ainda maiores, uma vez que são utilizadas camadas de

cobertura intermediárias por um longo período, algumas vezes por 1 a 2 anos, até que a área receba resíduos novamente.

A emissão destes gases impacta diretamente no meio ambiente e na saúde humana. O CH₄ e o CO₂ representam cerca de 80% do volume de biogás produzido em aterros e são os principais poluentes atmosféricos indutores do aumento do efeito estufa, sendo o potencial do CH₄ 28 vezes superior ao do CO₂ (U.S.EPA, 2019). Os gases traços, tal como alguns compostos orgânicos voláteis (COV), ainda que em pequenas concentrações, tem potencial tóxico e carcinogênico (UK EA, 2002). Além disso, os COV e os óxidos de nitrogênio (NO_x) na presença de luz podem reagir na atmosfera formando Ozônio (O₃) troposférico, considerado o poluente mais problemático em zonas urbanas (ALVIM, 2013; SILVA, 2016; MARTINS; NUNES; CORRÊA, 2015).

Desse modo, foi realizado um estudo para verificar a emissão destes poluentes através da camada de cobertura intermediária dos dois maiores aterros do Estado do Rio de Janeiro, localizados na Região Metropolitana de sua capital, um deles aterro controlado e o outro um aterro sanitário. Vale destacar que os dois aterros foram classificados de grandíssimo porte, tendo recebido uma média de 10.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, cada um.

A grandiosidade e as características dos aterros citados salientam a necessidade de demonstrar as emissões devido a degradação dos resíduos, como também a necessidade em verificar as tendências de dispersão destes poluentes na atmosfera, já que os aterros estarão permanentemente emitindo gases, sobretudo durante a fase de operação.

Vale destacar que considerando o levantamento bibliográfico realizado verificou-se que a avaliação da dispersão da pluma na atmosfera de poluentes de aterros foi pouco desenvolvida, tendo sido encontrados estudos para o aterro controlado do Morro do Céu, em Niterói (TEIXEIRA, 2009) e aterros vizinhos em Nápoles, Itália (CARRIERO *et al.*, 2018).

A questão se torna ainda mais relevante, uma vez que as normas existentes para implantação de aterros sanitários se encontram defasadas, não há legislação que delimite a emissão de gases em aterros sanitários e que determinem o monitoramento destes gases. Além disso, os Estudo de Impacto Ambiental relativo a esta atividade não consideram a existência dessas emissões.

Em virtude dos fatos mencionados, a pesquisa busca demonstrar a necessidade de que as emissões através da camada de cobertura de aterros sejam legisladas e delimitadas durante e após a operação dos aterros sanitários.

Objetivos

Objetivo Geral

Averiguar o padrão de dispersão atmosférica, tendo em vista a emissão de gases através da camada de cobertura de solo intermediária do Aterro Controlado de Gramacho e do Aterro Sanitário de Seropédica, aterros de grande porte localizados na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Objetivos Específicos

- Avaliar as emissões dos gases metano, dióxido de carbono, benzeno, tolueno, etilbenzeno e isômeros do xileno através das camadas de solo de cobertura intermediárias do Aterro Sanitário de Seropédica, no período entre julho de 2014 e janeiro de 2015;
- Avaliar as emissões de metano, dióxido de carbono, óxido nitroso, monóxido de carbono, benzeno, tolueno, etilbenzeno, isômeros do xileno e hidrocarbonetos através das camadas de solo de cobertura intermediárias do Aterro Controlado de Gramacho, ao longo do ano de 2011;
- Determinar os padrões de dispersão dos poluentes atmosféricos emitidos em ambos os aterros, utilizando o modelo AERMOD.

1. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Aterros sanitários são estruturas de engenharia consideradas ambientalmente adequadas para a disposição final de rejeitos, as quais devem seguir normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

Sendo assim, devem ser projetados e construídos utilizando estruturas de impermeabilização da área em que serão depositados os resíduos, estruturas de captação de gás e lixiviados gerados, estação de tratamento de lixiviado, estruturas de drenagem superficial e barreiras de proteção para conter a saída de gases e a entrada de água na massa de resíduos (ABNT NBR 13.896, 1997). E estas são as principais diferenças entre um aterro sanitário em relação a aterro controlado e lixão.

Nos aterros controlados são realizadas intervenções para a implantação das estruturas citadas acima, após o início da disposição de resíduos. Sendo assim, não há como realizar impermeabilização da fundação e as demais estruturas, como drenos de gás e lixiviados, são implantadas até uma profundidade tal que não comprometa a estabilidade dos resíduos já dispostos. Por este motivo não é possível atingir toda a área do aterro e efetuar a drenagem dos gases e lixiviados de maneira eficiente, havendo a possibilidade da formação de bolsões de acúmulo destes poluentes.

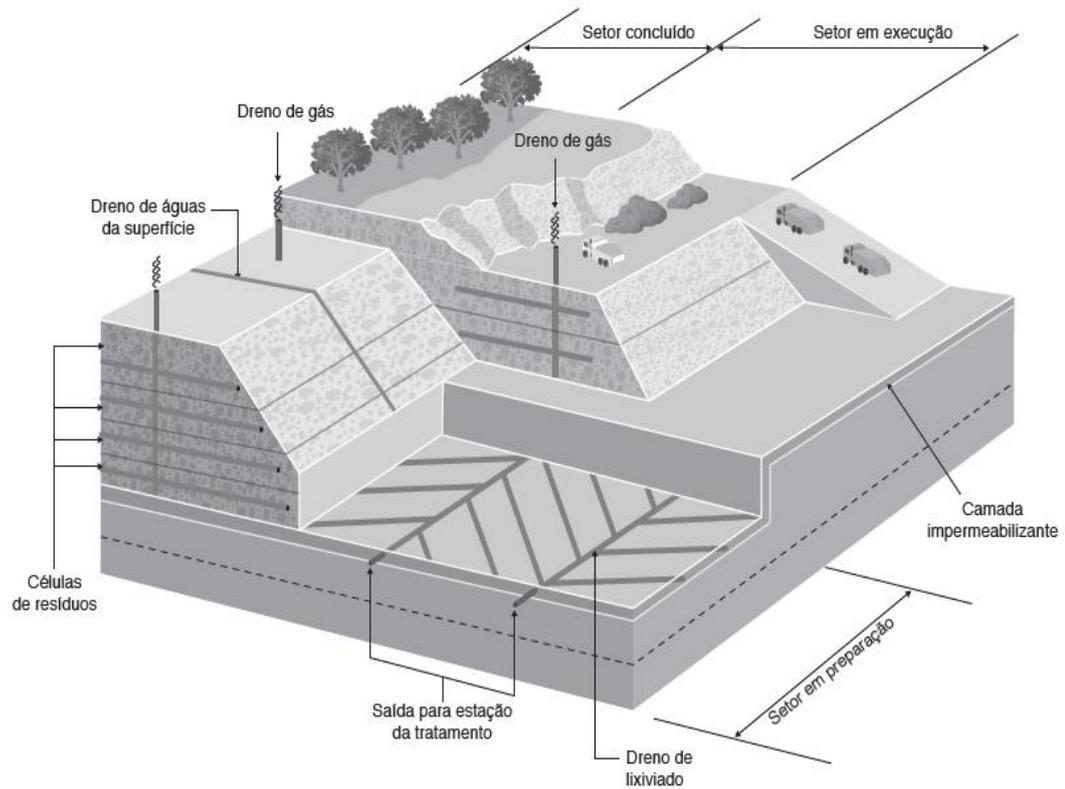
Já os lixões se caracterizam pela ausência de estruturas que minimizem os impactos ambientais gerados devido a degradação dos resíduos dispostos.

Na Figura 1 pode ser observada uma representação de um aterro sanitário e suas estruturas de engenharia.

Em se tratando especificamente dos produtos gasosos gerados pela degradação de resíduos, as estruturas utilizadas como barreiras para conter a saída destes gases diretamente para a atmosfera são chamadas camadas de cobertura e, segundo Tchobanoglous (1993), uma vez que minimizam a emissão destes poluentes são componentes “chave” no projeto estrutural de aterros.

Além disso, as camadas de cobertura foram desenvolvidas a fim de diminuir a infiltração de água, contribuindo para formação de menores quantidades de lixiviado (TCHOBANOGLIOUS, 1993).

Figura 1. Representação esquemática de um aterro sanitário, de um aterro controlado e de um lixão.



Fonte: Ritter *et al.* (2021).

Assim, de maneira que possam desempenhar seu papel de maneira efetiva, as camadas de cobertura devem possuir uma série de características, como, baixa permeabilidade à água e durabilidade ao longo do tempo (MARIANO, 2008; MACIEL, 2003). O desempenho em longo prazo de um aterro de resíduos está diretamente ligado a um sistema de cobertura eficiente e duradouro (VIEIRA, 2005).

Existem vários tipos de materiais empregados na construção de camadas de cobertura, sendo que a utilização de solos compactados são os que mais se emprega (HUSE, 2007), comumente chamados de camadas monolíticas. Outras camadas são: a barreira capilar, as camadas evapotranspirativas, assim como as de materiais geossintéticos como geomembranas.

A camada monolítica é constituída de uma camada de solo de granulometria fina, na qual se aplica a compactação, a fim de que seja diminuída a permeabilidade à água (SANTOS, 2009). Este tipo de camada apresenta baixo custo inicial de implantação, mas possui algumas

desvantagens em relação aos ciclos de secagem e umedecimento, fazendo com que surjam fissuras e, em consequência, aumentando a permeabilidade à água e aos gases (OLIVEIRA, 2013; DAMASCENO; CARVALHO; MACHADO, 2019).

Além dos diferentes tipos de camadas de cobertura, estas podem ser classificadas segundo o tempo de utilização: temporária ou definitivamente. As formas mais utilizadas são camadas de cobertura diária, intermediária e final (SPOKAS; BOGNER; CHANTON, 2011). As camadas de cobertura diárias e intermediárias possuem baixa espessura e menor qualidade e recobremos resíduos recém dispostos no aterro, ocorrendo em áreas de operação ativa e por isso são utilizadas provisoriamente, devendo ser removidas para a disposição de novos resíduos (BABILOTTE, 2011; DAMASCENO, 2018).

O material empregado nas camadas de cobertura finais, normalmente possui maior espessura, quando se trata de camada monolítica, podendo ser recoberta por materiais de melhor qualidade, como geomembranas de PEAD (polietileno de alta densidade), ou até mesmo sendo realizado o plantio de cobertura vegetal (evapotranspirativas), já que estas são empregadas em áreas do aterro em que a operação se encontra encerrada.

Apesar das camadas de cobertura intermediárias possuírem características inferiores, tendo em vista sua utilização temporária, elas podem ser utilizadas por um mês, para aterros de pequeno e médio porte, ou por um a dois anos, ou mais, no caso de aterros de maior porte.

Objetivando verificar quantitativamente o porte dos aterros sanitários, pela necessidade de comparar as estruturas de diferentes aterros, Cunha (2019) estabeleceu os critérios de classificação do porte de aterro tal como abordados no Quadro 1.

Para Cunha (2019), aterros de médio porte atendem uma população de até 570.000 habitantes e recebem diariamente 505 toneladas de resíduos. Já aterros de grande porte atendem uma população de até 1.000.000 de habitantes e recebem 1.000 toneladas de resíduos por dia. Aterros que atendem mais de 2.000.000 habitantes e recebem 2.000 toneladas por dia, ou mais, foram classificados com aterros excepcionais, variando entre I e IX, dependendo dos quantitativos apresentados.

Em consonância com a CONAMA 404 (2008) são considerados aterros sanitários de pequeno porte aqueles com disposição diária de até 20 toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Quadro 1. Escala de porte em função da comunidade atendida e taxa de deposição média diária segundo Cunha (2019).

Classificação de Porte Aterro Sanitário	Comunidade atendida (habitantes)	Taxa de geração Per-Capita (PERS 2014)	Taxa de deposição média anual (tano ⁻¹)	Taxa de deposição média mensal (tmês ⁻¹)	Taxa de deposição média diária (tdia ⁻¹)
Comunitário	≤ 1.500	0,50	≤ 274	23	1
Pequeno	≤ 30.000	0,65	≤ 7.118	593	20
Médio	≤ 570.000	0,95	≤ 198.064	16.505	550
Grande	≤ 1.000.000	0,99	≤ 359.890	29.991	1.000
Excepcional I (2000 t/dia)	≥ 2.000.000	1,00	≥ 720.000	60.000	2.000
Excepcional II (3000 t/dia)	≥ 2.727.273	1,10	≥ 1.080.000	90.000	3.000
Excepcional III (4000 t/dia)	≥ 3.636.364	1,10	≥ 1.440.000	120.000	4.000
Excepcional IV (5000 t/dia)	≥ 4.545.455	1,10	≥ 1.800.000	150.000	5.000
Excepcional V (6000 t/dia)	≥ 5.000.000	1,20	≥ 2.160.000	180.000	6.000
Excepcional VI (7000 t/dia)	≥ 5.833.333	1,20	≥ 2.520.000	210.000	7.000
Excepcional VII (8000 t/dia)	≥ 6.666.667	1,20	≥ 2.880.000	240.000	8.000
Excepcional VIII (9000 t/dia)	≥ 6.923.077	1,30	≥ 3.240.000	270.000	9.000
Excepcional IX (10000 t/dia)	≥ 7.692.308	1,30	≥ 3.600.000	300.000	10.000

Fonte: Adaptado de Cunha (2019).

Atualmente, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) os municípios que contam com a presença de aterros sanitários em atividade em seus territórios são: Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, São Gonçalo e Seropédica (SNIS, 2020).

Para classificar os aterros sanitários da RMRJ, segundo o porte, foram levantados os dados do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2019 (SNIS, 2020), apresentados no Quadro 2 e a localização dos aterros esta representada na Figura 2.

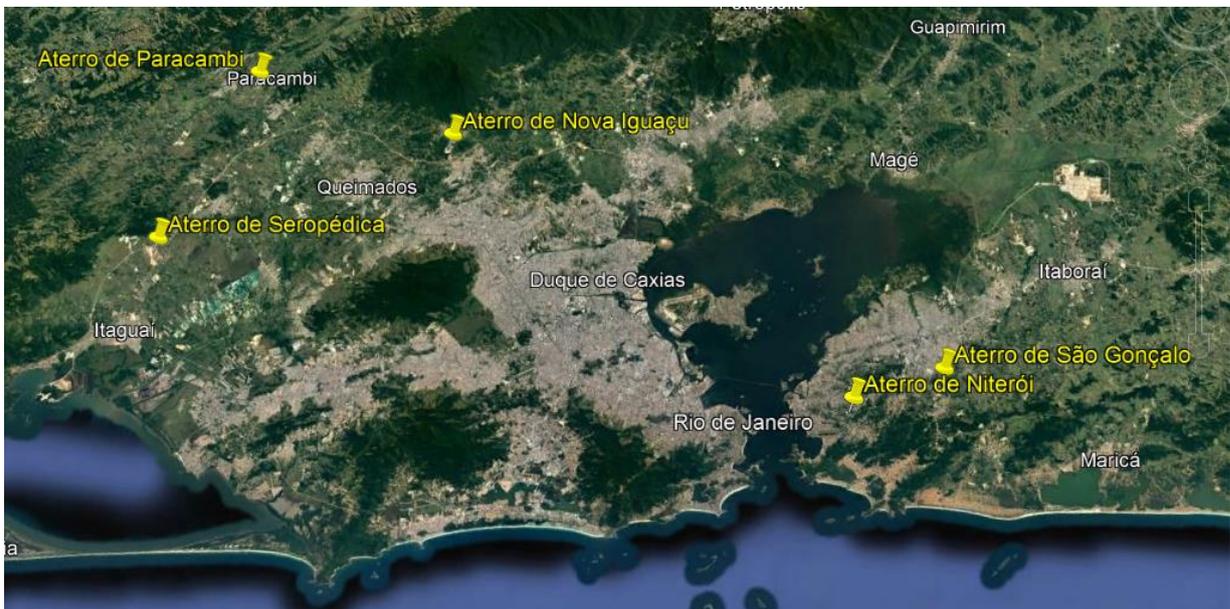
Quadro 2. Classificação do porte dos aterros sanitários em operação na RMRJ.

Localização do aterro sanitário	Municípios de origem dos resíduos		Total de resíduos (tano ⁻¹)	Porte
	Municípios	Total de resíduos (tano ⁻¹)		
Niterói	Niterói	20.568	20.568	Médio
Nova Iguaçu	São João de Meriti	795	1.235.080	Excepcional II
	Magé	20.916		
	Nilópolis	55.028		
	Mesquita	90.066		
	Belford Roxo	149.167		
	Nova Iguaçu	402.914		
	Duque de Caxias	516.194		
Paracambi	Eng. Paulo de Frontin	2.454	60.804	Médio
	Mendes	3.427		
	Paracambi	10.108		
	Japeri	14.393		
	Queimados	30.422		
Seropédica	Desterro do Melo (MG)	280	3.280.786	

Localização do aterro sanitário	Municípios de origem dos resíduos		Total de resíduos (tano ⁻¹)	Porte
	Municípios	Total de resíduos (tano ⁻¹)		
	São João de Meriti	700	529.874,4	Excepcional VIII
	Miguel Pereira	6.065		
	Piraí	8.094		
	Mangaratiba	17.885		
	Seropédica	23.387		
	Itaguaí	38.120		
	Rio de Janeiro	3.186.255		
	São Gonçalo	385.874,4		
	Niterói	144.000	529.874,4	Grande
	São Gonçalo	385.874,4		

Os aterros sanitários localizados em Niterói e Paracambi foram classificados como de médio porte e em São Gonçalo como de grande porte. O aterro de Nova Iguaçu foi classificado como Excepcional II e o aterro de Seropédica foi classificado como Excepcional VII, sendo o maior aterro em operação da região metropolitana do Rio de Janeiro.

Figura 2. Localização dos aterros sanitários em operação na RMRJ.



1.1. Normas e legislações de aterros sanitários

Todo o projeto de um aterro sanitário deve ser elaborado seguindo as normas preconizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ELK, 2007).

A ABNT é uma instituição sem fins lucrativos, responsável pela normatização técnica no país. As NBR (Normas Brasileiras de Referência) foram criadas pela ABNT com o intuito de regulamentar e padronizar determinados processos de execução ou cumprimento de

procedimentos. Dentre as NBR, aquelas que fazem referência à emissão de gases e sistemas de drenagem em aterros sanitários são:

NBR 13.896/1997 - Aterros de Resíduos Não Perigosos - Critérios para Projeto, Implantação e Operação:

5. Condições específicas: 5.3. Emissões gasosas: Todo aterro deve ser projetado de maneira a minimizar as emissões gasosas e promover a captação e tratamento adequado das eventuais emanações.

NBR 8.419/1992- Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos:

5.1.6.5 Sistema de drenagem de gás

5.1.6.5.1 Deve ser previsto um sistema para a drenagem de gás, que pode ser integrado ao sistema de drenagem de líquido percolado.

Tal como cita Cunha (2019), essas normas têm como objetivo parametrizar procedimentos na elaboração de projetos, bem como na implantação e operação da atividade, de forma a reduzir o risco de ocorrência de impactos ambientais e incômodos à vizinhança, bem como propor critérios mínimos para a seleção assertiva do local de implantação de um aterro.

Contudo, no que diz respeito ao monitoramento das emissões gasosas, as NBR em questão apontam que devem ser gerados registros em relatório anual, mas, não citam monitoramento de emissões através da camada de cobertura, nem mesmo o monitoramento de áreas afetadas pela dispersão das emissões gasosas.

Além da existência das NBR para a instrução e normatização de aterros sanitários, há o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que realiza a regulação, em nível nacional e o Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (CONEMA).

Segundo a CONAMA 01, 1986 o Art. 2º define que:

Artigo 2º - Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental - EIA e respectivo relatório de impacto ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:

X - Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos.

Sendo assim, todo aterro, antes de ser implantado, deve obter as licenças exigidas pelos órgãos ambientais, municipais, estaduais ou federal (ELK, 2007). O órgão ambiental que tem a

função de executar as políticas de meio ambiente no Rio de Janeiro é o Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

A Resolução CONAMA 404 (2008) estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Em seu Art. 4º considera que:

Artigo 4º - No licenciamento ambiental dos aterros sanitários de pequeno porte contemplados nesta Resolução deverão ser exigidas, no mínimo, as seguintes condições, critérios e diretrizes:

XII - métodos para a prevenção e minimização dos impactos ambientais;

XIII - plano de operação, acompanhamento e controle;

Observa-se ainda que na referida CONAMA não são especificadas as condições e itens ambientais que deverão ser acompanhados e controlados.

Tratando-se de legislações para aterros sanitários em países desenvolvidos, especificamente ao que se refere ao controle e monitoramento da emissão de gases pela camada de cobertura, destaca-se a Lei de Conservação e Recuperação dos Recursos (Resource Conservation and Recovery Act – RCRA), emenda de 1991, nos Estados Unidos (EUA), a qual estabelece critérios para aterros sanitários municipais e que aponta em seus critérios operacionais onde a emissão de metano não pode ultrapassar 5% do total gerado.

Na legislação Europeia (Diretiva 1999/31/CE) cita como objetivo, dentre outros, a determinação de processos e orientações que evitem ou reduzam os efeitos negativos gerados por aterros sanitários, incluindo a poluição da atmosfera sobre o ambiente global, considerando, inclusive, o aumento do efeito estufa e riscos para a saúde humana. A Diretiva cita ainda, em seu Anexo III, que o monitoramento da emissão de gases deve ser realizado em cada uma das seções do aterro, em uma periodicidade mensal, durante a operação e em uma periodicidade semestral, após o encerramento das atividades. Aponta também, que os gases monitorados deverão ser CH₄, CO₂ e O₂, contudo poderá ser cobrado o monitoramento de outros gases. Além disso, a eficiência do sistema de extração de gases deverá ser comprovada regularmente.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas do ano de 2014 determinou a concentração de CH₄, CO₂ e N₂O no ar atmosférico, para isso foram feitas coletas de amostras em diferentes partes do mundo e através do resultado das análises foram calculadas médias das

concentrações destes gases que resultaram em 703 mg m^{-3} de CO_2 , é de $1,3 \text{ mg m}^{-3}$ de CH_4 e é de $0,4 \text{ mg m}^{-3}$ de N_2O (IPCC, 2014).

1.2. Licenciamento Ambiental de Aterros Sanitários

A Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) é um instrumento que fornece subsídios para o planejamento de medidas a serem adotadas, para que seja gerado o mínimo de danos, de maneira direta e indireta, ao entorno do local modificado, considerando fatores, tais como saúde, bem-estar humano e meio ambiente. Para tanto, deve-se realizar um exame sistemático das atividades descritas em projeto.

Sanchez (2020) cita que os objetivos da AIA são: demonstrar a viabilidade de projetos, legitimando aqueles que são considerados viáveis, selecionar melhores alternativas de localização, reformular planos e projetos, definir objetivos e responsabilidades dos proponentes de projetos.

Neste sentido, a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) definiu a necessidade de prévio licenciamento ambiental para empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes de causar degradação ambiental, e a CONAMA 01 (1986) vincula o licenciamento à necessidade de aplicação da AIA, listando em seu Art. 2º, as atividades que necessitam de EIA/RIMA, como requisito para obtenção de licença ambiental.

Dentre as atividades listadas verificam-se os “*aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos*”, tendo em vista seu porte significativo, uma vez que os impactos ambientais de um aterro abrangem o meio físico, biológico e antrópico.

Sendo assim, há de se considerar a possibilidade de impactar o solo, água e ar, além de acarretar poluição sonora e visual, proliferação de vetores e maus odores, para as regiões ao redor do aterro. O EIA de um aterro sanitário deverá considerar todos estes itens para que o monitoramento do empreendimento seja realizado de maneira efetiva e, sobretudo, para que sejam aplicadas alternativas de engenharia que minimizem ao máximo a ocorrência destes.

Contudo, no que diz respeito ao impacto atmosférico provocado por estes empreendimentos, é de praxe que seja considerada movimentação de máquinas e veículos, devido à movimentação de terras e à queima de combustíveis fósseis resultantes das máquinas em operação, sem que sejam consideradas as emissões dos gases gerados na degradação dos resíduos depositados.

Ao adquirir licença de operação do aterro sanitário, são determinadas condicionantes para que tal licença se mantenha válida, dentre elas é exigido o monitoramento dos efluentes tratados e das águas subterrâneas. No entanto não são consideradas ações para o monitoramento dos poluentes atmosféricos, assim como ocorre no EIA.

Sendo assim, verifica-se que o impacto dos poluentes gasosos gerados pelas atividades de um aterro sanitário é subestimado, tanto pela legislação brasileira quanto no licenciamento ambiental deste tipo de empreendimento. Contudo, é possível verificar a emissão de diferentes espécies de poluentes gasosos devido à degradação dos resíduos, mesmo com a utilização de camadas de cobertura, tal como pode ser verificado nos próximos capítulos.

1.3. Gases de Aterros Sanitários

A formação dos gases de aterro ocorre, inicialmente, devido à decomposição aeróbia da matéria orgânica. Assim que é realizada a disposição dos resíduos, ainda há forte presença de oxigênio junto aos resíduos. Porém, à medida que os resíduos são cobertos pela camada de cobertura e o oxigênio é consumido, a degradação dos resíduos passa a ocorrer através da digestão anaeróbia.

A digestão anaeróbia ocorre devido à atuação de microrganismos que digerem a matéria orgânica até que seja atingida a estabilização da matéria, ou até que esta seja transformada em material inerte.

Vale destacar que fatores tais como temperatura, pH, composição gravimétrica e umidade são importantes condições para o desenvolvimento do metabolismo das comunidades microbianas responsáveis pelo processo de biodegradação de RSU (AIRES *et al.*, 2020).

Um dos produtos desta degradação é o biogás, o qual se caracteriza pela mistura de gases como o CH₄, CO₂, H₂, H₂S e gases traço (GOUVELLO, 2010).

Assim, sabe-se que o gás formado em um aterro é constituído, principalmente por CH₄ e CO₂, além de concentrações residuais de muitas espécies de compostos orgânicos voláteis (COV) não metânicos, alguns dos quais potencialmente tóxicos, e reagem para formar o ozônio troposférico e com capacidade de aumentar o efeito estufa do planeta Terra (HUBER-HUMER, 2004).

No Quadro 3 são apresentados os gases habitualmente encontrados em aterros sanitários devido à decomposição dos resíduos sólidos.

Quadro 3. Percentuais de gases formados em aterros sanitários.

Composição Típica de Gases em Aterros		
Gás	Fórmula	Volume (%)
Metano	CH ₄	40-70
Dióxido de Carbono	CO ₂	30-60
Nitrogênio	N ₂	3,0-5,0
Oxigênio	O ₂	0-0,3
Sulfeto de Hidrogênio	H ₂ S	0-0,2
Amônia	NH ₃	-
Hidrogênio	H ₂	0-5,0
Monóxido de Carbono	CO	0-3,0
Gases Traço	-	0-1,0

Fonte: Adaptado de Gandolla *et al.* (1997).

O Quadro 3 indica a presença de CH₄ e CO₂ como principais produtos da decomposição dos resíduos. Observa-se um baixo percentual de sulfeto de hidrogênio (H₂S) e amônia (NH₃), o que reflete a pequena quantidade de enxofre e nitrogênio na matéria orgânica depositada em aterros (MARIANO, 2008).

Quanto aos compostos traço, os principais são divididos em onze grupos: alcanos, alcenos, compostos orgânicos aromáticos, compostos halogenados, álcoois, ácidos carboxílicos, éteres, amidas, compostos organosulfurados, outros compostos oxigenados (UK EA, 2002).

1.4. Gases Traço

Os gases traço são assim nomeados devido ao fato de representarem uma gama de substâncias que, normalmente, ocupam menos de 1% do volume total de composição do gás gerado em aterro sanitário (UK EA, 2002).

Segundo UK EA (2002) foram identificados aproximadamente quinhentos diferentes tipos de gases traço, compondo os gases gerados em aterros sanitários e, dentre estes, dezoito deles foram considerados com alto potencial de contribuição para o impacto toxicológico, os quais são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4. Compostos Traços encontrados em gases de aterros sanitários, considerados com alto potencial de contribuição para o impacto toxicológico.

Compostos Químicos		
Benzeno	Furano	1,1 - dicloroetano
Cloroetano	Mercúrio	1,1 - dicloroetano
Clorometano	Sulfeto de hidrogênio	1,2 - dicloroetano
Cloroetano	Tetraclorodibenzodioxina	1,3 - butadieno
Dissulfeto de carbono	Tricloroetano	2 - butoxi etanol
Formaldeído	Tetraclorometano	-

Fonte: Adaptado de UK EA (2002).

A formação dos gases traço em aterros sanitários ocorre a partir da decomposição anaeróbia de produtos domésticos, os quais são produzidos industrialmente, assim como através de resíduos perigosos, caso sejam dispostos irregularmente em aterros sanitários de resíduos comuns (BROSSEAU e HEITZ, 1994).

Os processos formadores destes gases podem ser classificados em quatro diferentes categorias, de acordo com sua origem e formação (BROSSEAU e HEITZ, 1994 e DUAN; SCHEUTZ; KJELDTSEN, 2021):

- Volatilização de substâncias enterradas;
- Decomposição de resíduos enterrados;
- Volatilização e decomposição;
- Outros.

A composição química dos gases encontrados em aterros não é estática, visto que à medida que os resíduos dispostos são degradados, uma grande quantidade de compostos é produzida e ali continuam confinados e com isso continuam sofrendo diferentes reações com o passar do tempo (WOOD e PORTER, 1987).

George *et al.* (2007) detalham exemplos de compostos, os quais seriam gerados em três diferentes grupos de ação: química, microbiológica e mecanismos ainda não definidos ao certo:

- Gerados através de reações químicas: H_2S , H_2Se , $HSCN$, HCN , SbH_3 , AsH_3 , hidrocarbonetos, HCl , Hg , NH_3 , N_yO_x , PH_3 , H_2Se , $COCl_2$ (em algumas circunstâncias I_2 , Br_2 , Cl_2 , F_2 , SO_2).
- Gerados através de ação microbiológica: H_2S , R_2S , SbH_3 , SbR_3 , AsH_3 , AsR_3 , BiR_3 , Co , CS_2 , COS (e possivelmente análogos ao Selênio, como, CSe_2 e $COSe$), hidrocarbonetos simples, ácidos orgânicos, PbR_4 , Hg , HgR_2 , NH_3 , N_yO_x , PH_3 , H_2Se , R_2Se , R_2Te , SnR_4 (R = grupo do alquil, incluindo metil e em alguns casos $R=H$) e espécies alquinas de outros metais.
- Gerados através de mecanismo incertos (possivelmente pela combinação de reações químicas e microbiológicas): $Ni(CO)_4$, $W(CO)_6$ e outros.

Além destes processos de formação dos gases, há também a combustão. Através da combustão os compostos químicos halogenados, em presença de hidrocarbonetos se transformam em outros, com alto potencial de toxicidade, como furanos e dioxinas (CHEREMISINOFF, 2003).

Brosseau e Heitz (1994) realizaram uma revisão sobre a natureza, a formação e origem dos gases traço. Dentre as espécies citadas estão hidrocarbonetos saturados e insaturados, hidrocarbonetos, ácidos, álcoois orgânicos, hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos halogenados, compostos de enxofre (como sulfuretos de hidrogênio e carbonila, dissulfeto de carbono e mercaptanas) e compostos inorgânicos.

1.5. Emissão de gases pela Camada de Cobertura de Aterros Sanitários

As emissões de gases através da camada de cobertura podem variar em relação ao tempo e a região do aterro e são influenciadas por fatores externos e internos, tal como precipitação, pressão atmosférica, umidade do solo e a existência de fissuras na camada de cobertura, assim como as técnicas de operação utilizadas (DAMASCENO; CARVALHO e MACHADO, 2019; SILVA; FREITAS; CANDIANI, 2013; BORBA, 2015).

Em Silva; Freitas e Candiani (2013) a emissão média de CH₄ foi de 0,012 m³ m⁻² h⁻¹, representando 35% do quantitativo de CH₄ gerado no aterro de Caieiras (SP).

Damasceno, Carvalho e Machado (2019) e Borba (2015) realizaram uma análise das emissões em regiões com e sem fissuras dos aterros metropolitano Centro (BA) e Seropédica (RJ), respectivamente. No primeiro a média de emissão de CH₄ nas áreas que não continham fissuras foi de 4,3 g m⁻² dia⁻¹ e nas áreas que continham fissuras foi de 186,5 g m⁻² dia⁻¹. No mesmo sentido, em Borba (2015) a média de emissão das áreas com fissuras foi maior que nas áreas sem fissuras, tendo sido quantificadas taxas médias de emissão de CH₄ de 329,6 g m⁻² dia⁻¹ e 18,4 g m⁻² dia⁻¹.

As principais formas de levantamento da emissão de gases pela camada de cobertura de aterros sanitários buscam averiguar, principalmente, valores de fluxos e de concentração. Valores estes que podem ser mensurados *in situ* ou *ex situ*, assim como de maneira local, em pontos específicos, e de maneira global, no aterro sanitário como um todo.

Muitos são os estudos que têm sido realizados a fim de investigar os diferentes componentes emitidos, entretanto, a composição dos gases gerados pela decomposição dos resíduos em aterros sanitários pode variar de forma muito extensa, tendo em vista que esta dependerá, basicamente, da composição dos resíduos dispostos.

No Quadro 5 podem ser observados resultados referentes à emissão de CH₄ de estudos em diversos aterros no mundo.

Quadro 5. Resultados de emissão de metano em diferentes literaturas.

Autor/ Localização do aterro	Média de emissão de CH₄ (g m⁻²dia⁻¹)	Máximo (g m⁻²dia⁻¹)	Mínimo (g m⁻²dia⁻¹)	Tipo de aterro/Tipo de cobertura	Método de análise
Di Bella; Di Trapani e Viviani (2011) - Itália	35,4	695,5	0,09	Aterro Sanitário/Intermediária e Final	Placa de fluxo + FID portátil
Park <i>et al.</i> (2013) - Coreia	37,5	59	6,4	Aterro Sanitário/ Intermediária	Placa de fluxo + LMD portátil
Hegde; Chang e Yang (2003) - Taiwan	3,8	18,2	0	Aterro Sanitário/Final	Placa de fluxo + Seringa (CG)
Chakraborty <i>et al.</i> (2011) - Índia	24,9	86,6	2,9	Aterro Controlado/Intermediária	Placa de fluxo + Seringa (CG)
Oliveira <i>et al.</i> (2013) – Brasil (RJ)	13,7	35,23	0	Aterro Sanitário/ Intermediária	Placa de fluxo + GEM 2000
Di Trapani; Di Bella e Viviani (2013) - Itália	17,3	1114,6	0,009	Aterro Sanitário/Intermediária	Placa de fluxo + FID portátil
Mosher <i>et al.</i> (1996) - EUA	NA*	1495	45	Aterro Controlado/Intermediária	Placa de fluxo + Seringa (CG)
Asadi <i>et al.</i> (2013) - Austrália	1,14	18,3	0,001	Aterro Sanitário/Final	Placa de fluxo + Seringa (CG)
Scheutz <i>et al.</i> (2014) - Dinamarca	NA*	446	3	Aterro Sanitário/NA	Placa de fluxo + FID
Abichou <i>et al.</i> (2006) - EUA	53,6	596	NA*	Aterro Sanitário/Intermediária e Final	Placa de fluxo + Seringa (CG)
Dever <i>et al.</i> (2013) - Austrália	1800	5400	NA*	Aterro Sanitário/Intermediária	Placa de fluxo
Maciel (2003) – Brasil (PE)	192,9	362,9	103,9	Aterro Controlado/Intermediária	Placa de fluxo + GEM 2000
Mariano (2008) – Brasil (PE)	81,9	401	0	Aterro Controlado/Intermediária	Placa de fluxo + DRAGER
Damasceno; carvalho e Machado (2019) – Brasil (BA)	37,71a 59,66b	355,5	0	Aterro Sanitário/Intermediária	Placa de fluxo + GEM 5000
Gollapalli e Kota (2018) - Índia	97,92	206,06	41,33	Aterro Sanitário/Intermediária	Placa de fluxo + Seringa (CG)
Gámez; Maroto e Pérez (2019) - Espanha	NA*	86,4	29,4	Aterro Sanitário/Intermediária	Placa de fluxo
Jeong <i>et al.</i> (2019) - Coreia	NA*	434,3	1,44	10 diferentes aterros sanitários na Coreia/ Intermediária	Placa de fluxo + FID
Randazzo <i>et al.</i> (2020) - Espanha	350	2920	0,008	Aterro sanitário em Madri/ Intermediária e Final	Placa de fluxo + FID

Autor/ Localização do aterro	Média de emissão de CH₄ (g m⁻²dia⁻¹)	Máximo (g m⁻²dia⁻¹)	Mínimo (g m⁻²dia⁻¹)	Tipo de aterro/Tipo de cobertura	Método deanálise
Randazzo <i>et al.</i> (2020) – Ilhas Canárias	132	1350	0,008	Aterro sanitário nas Ilhas Canárias/ Intermediária e Final	Placa de fluxo + FID
Moreira <i>et al.</i> (2020) – Brasil (PB)	-	0,09	0	Aterros Sanitário/ Final	Placa de fluxo + DRAGER

*NA – Não apresentado. ^aPeríodo seco/^bPeríodo chuvoso.

Dentre os dados de emissão de CH₄ apresentados no Quadro 5, verifica-se uma variação entre 5.400 g m⁻² dia⁻¹ e 0 g m⁻² dia⁻¹ em aterros sanitários com camadas de cobertura intermediária. Dentre os ensaios realizados exclusivamente em camadas de cobertura final verifica-se uma variação bem menor, até 18,3 g m⁻² dia⁻¹. Fato que confirma que as tecnologias aplicadas em camadas de coberturas finais são mais favoráveis à minimização da emissão de gases.

1.6. Emissão de Gases Traço

A princípio, a emissão de gases traço em aterros sanitários tinha enfoque muito singelo no meio científico, uma vez que representam uma parcela pequena do volume total das emissões. Contudo, aos poucos, os estudos voltados para o tema vêm ganhando cada vez mais força, já que são grandes os efeitos provocados ao meio ambiente e a saúde humana, tais como: degradação do ozônio estratosférico, aumento do efeito estufa e formação de ozônio troposférico, irritação da mucosa, problemas hematológicos, hepáticos e renais até problemas neurológicos.

Ao avaliar a estudos sobre emissão de gases traço em aterros sanitários, pode se verificar a existência de uma variedade de COV.

Chiriacet *al.* (2011) analisou emissão de gases traço em uma célula em escala piloto que foi construída utilizando resíduos industriais na França, tendo sido observada a presença de álcoois, cetonas e ésteres, alcanos, compostos benzênicos e cíclicos, compostos clorados, terpeno e sulfuretos orgânicos.

Em Chiriac *et al.* (2007), em um aterro sanitário na França, e em Zou *et al.* (2003), no aterro sanitário de Guangzhou, no sul da China, foram avaliadas as concentrações de gases traço na região em operação dos aterros sanitários, dentre os compostos quantificados estão alcanos, hidrocarbonetos aromáticos e halocarbonos.

Durmusoglu; Fatih; Karademir (2010) avaliaram o risco à saúde relacionada à exposição de benzeno, tolueno, etilbenzeno e m, p, o-xileno (isômeros do xileno) por inalação para trabalhadores em um aterro sanitário localizado a nordeste da cidade de Kocaeli, na Turquia.

Gallego *et al.* (2014) determinaram a emissão através da camada de cobertura de um aterro de resíduos industriais, tendo sido encontrados diversos COV, dentre eles alcanos, hidrocarbonetos aromáticos, álcoois, cetonas, halocarbonos, aldeídos, ésteres, terpenos, compostos nitrogenados, compostos de enxofre, furano e ácido carboxílico. Ao total, foram especificados 60 diferentes compostos, muitos deles com altas taxas de emissão. O que se justifica devido à disposição de resíduos perigosos, uma vez que se tratava de um aterro de resíduos industriais em Can Planas, na Espanha.

Borba *et al.* (2017) determinaram a emissão de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos no aterro sanitário de Seropédica (porte excepcional VIII), tendo sido verificadas grandes emissões em regiões com rachaduras nas camadas de cobertura no aterro sanitário localizado na cidade de Seropédica, na RMRJ.

Em Carriero *et al.* (2018) foi citada a importância da emissão média de COV para comunidades vizinhas a um lixão na Itália, demonstrando, através de modelo de dispersão, que as condições de estado estacionário da atmosfera aumentam o acúmulo de poluentes nas camadas inferiores. Citaram ainda que, alguns dos COV emitidos, como alquilbenzenos e monoterpênos, podem contribuir para a formação de ozônio troposférico.

Corrêa *et al.* (2012) verificaram a emissão em um lixão em operação na cidade de Niterói, na RMRJ e determinaram taxas de emissão de alcanos, olefinas, aromáticos, compostos clorados, benzeno e cloreto de vinila, etilbenzeno, metano, tolueno, tricloroetano e xilenos. O estudo compara a emissão total do COV encontrada no aterro ($1980 \text{ kg km}^{-2} \text{ h}^{-1}$) com emissões veiculares na região metropolitana de São Paulo ($38 \text{ kg km}^{-2} \text{ h}^{-1}$) e Rio de Janeiro ($26 \text{ kg km}^{-2} \text{ h}^{-1}$), demonstrando a importância da geração e emissão destes gases em aterros sanitários e ainda para a formação de Ozônio troposférico.

Em uma avaliação de estudos de emissão de gases traço, publicados entre os anos de 2003 e 2019, foi verificado que 63 tipos de COV são os mais comumente emitidos por aterros sanitários (DUAN; SCHEUTZ; KJELDSSEN, 2021):

- Compostos de enxofre: H_2S , Metil mercaptana, Sulfeto de dimetila, Dissulfeto de dimetila, Sulfeto de dietila, Dissulfeto de dietila e Dissulfeto de carbono;

- Compostos oxigenados: Etanol, Butanol, 2-butanona, Acetona, Acetato de etila, Ácido acético e Ácido butírico;
- Aromáticos: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno m, p-Xileno, Estireno, o-Xileno, 1,3,5-trimetilbenzeno, 1,2,4-trimetilbenzeno, m-etiltolueno, p-etiltolueno, o-etiltolueno e naftaleno;
- Hidrocarbonetos alifáticos: Etano, Propano, n-Butano, Isobutano, n-Pentano, Isopentano, n-Hexano, n-Heptano, n-Octano, n-Nonano, n-Decano, Undecano, Dodecano, Eteno, 2-Penteno e Propeno;
- Compostos halogenados: Cloreto de vinil, Monoclorometano, Diclorometano, Triclorometano, Tetraclorometano, 1,2-dicloroetileno, Tricloroetileno, Tetracloroeteno, CFC-113, CFC-11, CFC-12, 1,2-diclorobenzeno 1,3-diclorobenzeno, 1,4-diclorobenzeno e Clorobenzeno;
- Terpenos: Limoneno, α -pineno, β -pineno e p-cimeno;
- Compostos de nitrogênio: Amônia e Trimetilamina.

Moreno *et al.* (2014) relatam que entre os COV emitidos pela degradação de resíduos em aterros de resíduos sólidos domésticos, 1,58% do percentual volumétrico é caracterizado por BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e o,m,p-xilenos).

No Quadro 6 podem ser observados resultados de taxas de emissão de BTEX em diferentes aterros, na qual se percebe que o tolueno apresenta maior taxa de emissão dentre os demais gases, assim como a emissão dos BTEX foi maior no aterro com disposição de resíduos industriais do que aqueles que só recebem resíduos municipais.

Para a coleta dos gases, foi utilizada a técnica da câmara de fluxo, acoplada a cartuchos de carvão ativado (MARTÍ *et al.*, 2014; GALLEGO *et al.*, 2014; BORBA *et al.*, 2017) e bolsas de Tedlar (LAKHOUIT *et al.*, 2014), para armazenamento e posterior análise por cromatografia gasosa. Em Liu *et al.* (2015 e 2016) foi utilizada uma técnica de túnel de vento e análise por cromatografia gasosa.

As maiores médias de taxas de emissão de BTEX apresentadas no Quadro 6 são observadas no aterro brasileiro, isto se deve ao fato de parte das amostras terem sido coletadas em fissuras existentes na camada de cobertura do aterro. O aterro situado na China, que possui captação ativa de biogás, apresentou as menores taxas de emissão, seguido do aterro na França, que possuía captação passiva na área que foi realizada análise de emissão. O aterro localizado na Espanha apresentou as maiores taxas de emissão, exceto o brasileiro, uma vez que se tratava de um aterro

de resíduos industriais em que a extração do biogás é realizada através de apenas dois drenos, ou seja, não há sistema de captação de gás efetivo.

Quadro 6. Resultados de taxas de emissão de BTEX em diferentes aterros sanitários.

Gases	Autor	Média de Emissão ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	Tipos de Resíduos	Drenos de gás	País
Benzeno	Martí <i>et al.</i> (2014)	4,9	Industrial	Inexistente	Espanha
	Gallego <i>et al.</i> (2014)	4,8	Industrial	Inexistente	Espanha
	Scheutz <i>et al.</i> (2008)	1,67	Municipal	Passivos	França
	Borba <i>et al.</i> (2017)	32,8	Municipal	Passivos	Brasil
	Liu <i>et al.</i> (2015)	0,73	Municipal	Ativos	China
	Liu <i>et al.</i> (2016)	2,8	Municipal	-	China
Tolueno	Gallego <i>et al.</i> (2014)	30,2	Industrial	Inexistente	Espanha
	Scheutz <i>et al.</i> (2008)	9,94	Municipal	Passivos	França
	Borba <i>et al.</i> (2017)	1.359,8	Municipal	Passivos	Brasil
	Liu <i>et al.</i> (2015)	6,24	Municipal	Ativos	China
	Liu <i>et al.</i> (2016)	38,8	Municipal	-	China
Etilbenzeno	Gallego <i>et al.</i> (2014)	2,8	Industrial	Inexistente	Espanha
	Scheutz <i>et al.</i> (2008)	0,23	Municipal	Passivos	França
	Borba <i>et al.</i> (2017)	415,5	Municipal	Passivos	Brasil
	Liu <i>et al.</i> (2015)	1,05	Municipal	Ativos	China
	Liu <i>et al.</i> (2016)	14,2	Municipal	-	China
m+p - Xileno	Gallego <i>et al.</i> (2014)	8,5	Industrial	Inexistente	Espanha
	Borba <i>et al.</i> (2017)	162,2	Municipal	Passivos	Brasil
	Liu <i>et al.</i> (2016)	30,9	Municipal	-	China
o - Xileno	Borba <i>et al.</i> (2017)	57,8	Municipal	Passivos	Brasil
	Liu <i>et al.</i> (2015)	3,88	Municipal	Ativos	China
	Liu <i>et al.</i> (2016)	22,5	Municipal	-	China
m+p+o - Xilenos	Gallego <i>et al.</i> (2014)	2,6	Industrial	Inexistente	Espanha
	Scheutz <i>et al.</i> (2008)	5×10^{-5}	Municipal	Passivos	França

1.7. Dispersão dos gases na atmosfera

A dispersão de gases é completamente governada por parâmetros meteorológicos locais, tais como a temperatura, radiação solar, ventos, pressão atmosférica, umidade e precipitação, dentre os principais fatores que influenciam na dispersão dos gases na atmosfera.

O movimento dos poluentes na atmosfera compreende os mecanismos de transporte, dispersão e deposição. O transporte é ocasionado pelas variações médias do escoamento do vento, enquanto a dispersão resulta da turbulência local. A deposição, incluindo a precipitação e a sedimentação, ocasiona o movimento descendente das partículas na atmosfera.

Em linhas gerais, uma forte instabilidade atmosférica e altas incidências de luminosidade causam uma mistura eficiente dos poluentes, assim como uma boa dispersão. Em contrapartida, a poluição sofre baixa dispersão em dias ou noites, em que a atmosfera está estável. Nesses

momentos, o movimento turbulento da poluição é lento ou quase inexistente (PEPPER; GERBA; BRUSSEAU, 2006).

No que diz respeito à mistura vertical de poluentes do ar, esta dependerá fortemente da profundidade e estratificação da camada limite planetária (CLP), a qual é governada pelos fenômenos de fluxo de calor sensível, de movimento vertical de larga escala e de advecção horizontal (KESARKAR *et al.*, 2006).

O vento afeta a turbulência perto do solo, afetando a dispersão de poluentes liberados no ar. A turbulência (movimento do ar vertical e horizontal em larga escala) é gerada em parte pelo fluxo de ar sobre o solo irregular. Quanto maior a velocidade do vento, maior a turbulência e, portanto, maior a dispersão de poluentes próximos ao solo (PEPPER; GERBA; BRUSSEAU, 2006).

Com relação aos fenômenos atmosféricos e seus efeitos na dispersão de poluentes, utilizam-se as escalas espacial e temporal. A escala espacial está dividida em (ÁLVARES JUNIOR; LACAVA; FERNANDES, 2002):

- Grande escala ou escala sinótica que compreende os fenômenos que ocorrem em distâncias de milhares de quilômetros, onde estão incluídos, por exemplo, os ciclones e as frentes frias;
- Mesoescala ou escala regional, que compreende os fenômenos que ocorrem em distâncias de centenas de quilômetros onde estão incluídos, por exemplo, os ventos de vale-montanha e a circulação de brisas marítima e terrestre, e;
- Microescala, que compreende os fenômenos que ocorrem em distâncias de poucos de quilômetros onde estão incluídos, por exemplo, o efeito de um edifício no fluxo do vento e a dispersão de uma pluma (fumaça) de uma chaminé.

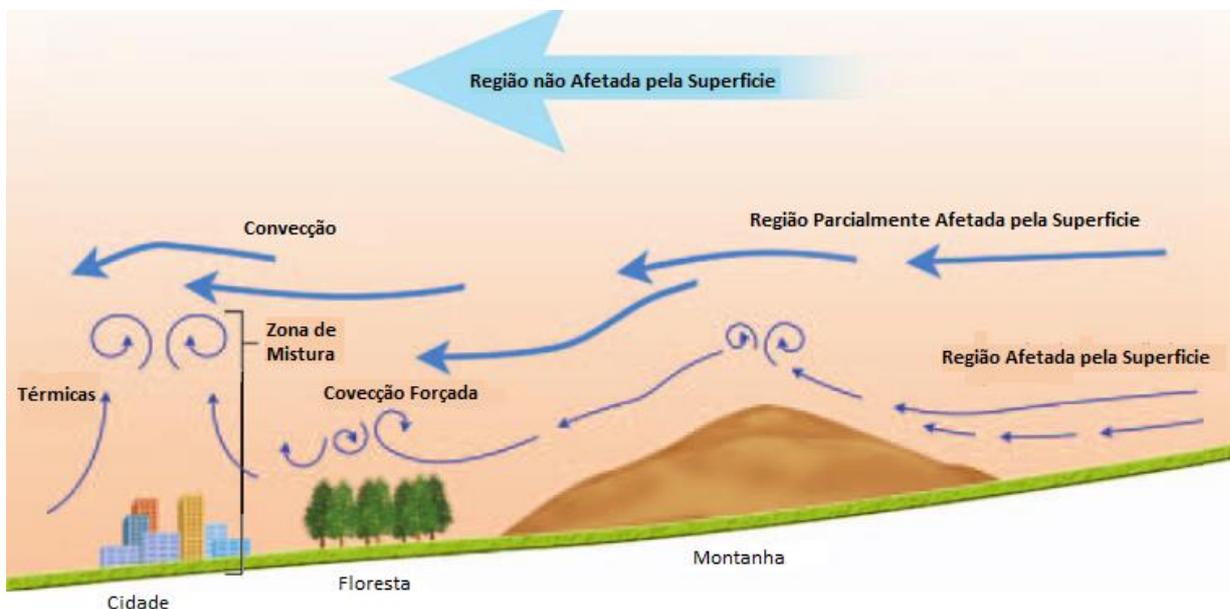
No que diz respeito à abrangência dos fenômenos meteorológicos na poluição do ar, as escalas espaciais têm importante influência, pois a condição meteorológica local determina a concentração e a dispersão dos poluentes atmosféricos, sendo o resultado da superposição dos fenômenos nas diferentes escalas espaciais (ÁLVARES JUNIOR; LACAVA; FERNANDES, 2002).

Em relação a variável tempo, cada fenômeno meteorológico tem seu tempo próprio de atuação. A distribuição espacial do fenômeno também está relacionada ao tempo de duração, assim, as escalas espaciais maiores tem influência na atmosfera em intervalos de tempo maiores (ÁLVARES JUNIOR; LACAVA; FERNANDES, 2002).

Tal como cita Salazar (2016), outro grande fator que influencia nos problemas de modelagem de dispersão atmosférica é a topografia na qual ocorre o processo de dispersão. Ao liberar um produto químico em um local que possua, por exemplo, edificações em seu entorno, há a modificação do fluxo de vento na camada limite atmosférica, de forma a alterar as taxas de diluição da pluma e a sua própria trajetória (MERONEY, 2012). Conforme o vento passa sobre a superfície do solo, o atrito existente neste contato retarda o fluxo do vento nas proximidades da superfície; em grandes alturas, esta influência do solo não existe mais e a velocidade é determinada apenas pelos gradientes de pressão e pela força de Coriolis, força esta que resulta do movimento rotacional da terra (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Na Figura 3 pode ser observada uma representação do fluxo de ar, mistura e velocidade relativa sobre vários terrenos em relação à altura na atmosfera.

Figura 3. Representação do fluxo de ar em relação ao tipo de terreno.



Fonte: Adaptado de Pepper; Gerba; Brusseau (2006).

Cabe ainda ressaltar que os poluentes emitidos por um aterro sanitário são considerados poluentes primários. Estes podem sofrer transformações físicas e químicas na atmosfera formando poluentes secundários tão ou mais tóxicos que os primários. O principal representante desta classe é o O_3 troposférico, considerado o poluente mais problemático em zonas urbanas. Ele é formado por uma série de reações entre os óxidos de nitrogênio (NO_x) e os COV na presença da luz solar e a extensão de sua formação vai depender da quantidade de NO_x emitida, assim como da quantidade

de COV e sua especiação (reatividade) (ALVIM, 2013; SILVA, 2016; MARTINS; NUNES; CORRÊA, 2015).

Para que sejam adquiridas tantas informações relacionadas aos processos de dispersão de poluentes, depende-se de alto custo financeiro, devido à grande complexidade em realizar experimentos que determinem tantas variáveis. Sendo assim, tal como cita Gomez (2017), a utilização de modelos matemáticos tornam este trabalho mais simples, uma vez que possibilitam a descrição do transporte e a difusão de poluentes atmosféricos, sendo alimentados com parâmetros meteorológicos e topográficos disponibilizados por agencias e órgãos federais e estaduais, além das taxas de emissão.

Essa vantagem permite que os modelos de dispersão sejam utilizados para administrar e planejar atividades poluidoras. Uma vez conhecidas as fontes de emissão, pode ser analisada a qualidade do ar e avaliadas as áreas de risco em cada região.

1.8. Modelos de Cálculo da dispersão

A modelagem matemática para avaliar a dispersão de gases na atmosfera é de grande valia, tendo em vista a possibilidade de prever impactos ao meio ambiente e à saúde pública. Por meio desta informação é possível prognosticar o impacto acumulativo de concentrações de poluentes e elaborar uma proposta de gerenciamento ambiental (SICILIANO, 2009).

Um modelo de dispersão é uma descrição matemática do processo de difusão turbulenta e transporte que ocorrem na atmosfera. A relação entre o poluente e a concentração medida em um receptor específico é uma função das condições meteorológicas e da relação espacial entre a fonte e o receptor (LYRA, 2008).

Em sua forma mais simples um modelo requer três tipos de dados de entrada: informações sobre as fontes dos poluentes, dados meteorológicos e topografia da região. A partir destes dados o modelo simula matematicamente o transporte e a dispersão dos poluentes e em alguns modelos, as transformações físicas e químicas, bem como os processos de remoção. O resultado do modelo é a concentração do poluente, para um período específico e para um receptor desejado (LYRA, 2008).

Segundo Lora (2002), os modelos de dispersão de poluição atmosférica podem ser classificados segundo os seguintes critérios:

- Pela estrutura básica do modelo

- Determinístico ou não-determinístico (estático)
- Estacionário ou dependente do tempo
- Pelo marco de referência (Euleriano ou Lagrangiano)
- Pelo dimensionamento do domínio computacional (unidimensional, bidimensional, tridimensional, ...)
- Pelo método de resolução das equações do modelo (analítico ou numérico).

O autor os classifica, ainda, segundo o atendimento aos seus objetivos:

- Pesquisa científica: aquisição de conhecimento sobre os processos básicos da atmosfera e provar novas teorias.
- Gerenciamento da qualidade do ar e tomada de decisões: incorporação de restrições com relação à qualidade do ar no planejamento dos sistemas de utilização do solo e do transporte.
- Impacto ambiental: estudo do impacto da contaminação do ar por novas fontes.
- Episódios de poluição do ar: localização de áreas danificadas no caso de acidentes que provoquem contaminação do ar e criação de um sistema de alerta.

Em análise à revisão sobre modelos de dispersão realizada por Holmes e Morawska (2006) e Martins; Fortes; Lessa (2015) são apresentados os seguintes tipos de modelos:

- Modelos Lagrangeano e Eulerianos;
- Modelos Gaussianos;
- Modelo Caixa (Box);
- Modelos baseados em Fluidodinâmica Computacional (CFD).

1.8.1. Modelos Lagrangeano e Eulerianos

Os modelos de dispersão variam em grau de complexidade e podem ser agrupados em duas classes principais: a classe dos modelos Lagrangeanos e a dos Eulerianos.

O modelo Euleriano é muito útil porque as estatísticas Eulerianas são determinadas através de gravações contínuas no tempo das velocidades do vento por uma rede fixa de instrumentos e porque as expressões matemáticas são diretamente aplicáveis a situações nas quais reações químicas são consideradas. Porém, a aproximação Euleriana lida com o problema de fechamento da turbulência, para o qual nenhuma solução amplamente válida é aceita (SEINFELD; PANDIS, 2006).

O modelo Lagrangeano pode ser mais maleável que o Euleriano e não apresenta problema de fechamento do balanço de massa. Sua aplicabilidade é mais limitada devido à dificuldade em determinar precisamente a estatística de partícula necessária. Além disso, as equações não podem ser aplicadas diretamente a problemas envolvendo reações químicas não lineares (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Segundo Siciliano(2009) os modelos Eulerianos são aqueles que procuram avaliar a concentração de cada espécie através da equação da continuidade (Equação 2) e os perfis de velocidade e temperatura através das equações de Navier-Stokes (Equação 1) e de Energia.

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = -\nabla p + \eta \nabla^2 v \quad \text{Equação (1)}$$

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} u_j c_i + D_i \frac{\partial^2 c_i}{\partial x_j \partial x_j} + R_i + S_i(x, t) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde c_i é a concentração de uma dada espécie química, u_j é a componente j do fluido; D_i , a difusividade molecular da espécie; R_i , a velocidade de geração da espécie por reação química; S_i , a velocidade de adição da espécie em uma dada localidade.

Já os modelos Lagrangeanos são similares aos modelos caixa quando definem a região de massa de ar como uma caixa de ar contendo uma concentração inicial de poluentes, e seguem a trajetória da caixa de acordo com a direção do vento, ou seja, a concentração de um poluente é produto de um termo fonte e da concentração inicial, combinados com a função probabilidade de densidade daquele poluente se mover de um ponto a outro. Desta forma, estes modelos incorporam variações na concentração devido à velocidade do fluido, à turbulência dos componentes dos ventos e à difusão molecular (HOLMES; MORAWSKA, 2006; SICILIANO, 2009).

1.8.2. Modelos Gaussianos

Os modelos gaussianos são assim classificados, pois são baseados primariamente na teoria de distribuição estatística normal (Curva de Gauss).

Os modelos Gaussianos podem ser considerados como uma subclasse dos modelos Eulerianos e Lagrangeanos. O modelo de pluma Gaussiana é obtido da equação de advecção-difusão em situações idealizadas e as concentrações de poluentes são determinadas a partir da

solução analítica da equação de conservação da massa para cada conjunto fonte-ponto receptor (TADANO, 2012).

O sistema computacional funciona com no mínimo dois arquivos de entrada: arquivo de definições e opções de simulação, e arquivo de meteorologia e topografia. No primeiro são definidas as opções de modelagem (cálculo de concentração, deposição, definição de área urbana ou rural e outras), a localização das fontes e seus parâmetros (taxa de emissão, altura e diâmetro da chaminé, velocidade e temperatura dos efluentes), localização dos receptores (pontos em que se deseja calcular as concentrações), especificação dos dados meteorológicos que serão utilizados (período, código da estação, altura de medição de vento) e as opções de saída (médias a serem calculadas, tabelas a serem geradas, etc.) (U.S. EPA, 2018).

O arquivo de dados meteorológicos deve ter formatação adequada e conter informações necessárias para as simulações (direção e velocidade do vento, temperatura, precipitação, estabilidade atmosférica, altura da camada de mistura- inversão térmica). Já o arquivo de dados topográficos deve conter informações que retratem a altura do relevo próximo a fonte de emissão (U.S. EPA, 2018).

Resumidamente, os modelos gaussianos leem um arquivo de entrada, em que se definem várias opções de modelagem, os dados meteorológicos e topográficos e geram arquivos de saída com as concentrações na região desejada, médias horárias, diárias e anuais.

Tendo em vista a vantagem de obter as concentrações de poluentes mais facilmente e exigir uma quantidade menor de dados, é um tipo de modelo comumente utilizado.

Segundo Vicentini (2011) a tomada de decisão na avaliação do impacto ambiental proveniente de efluentes gasosos industriais é tradicionalmente subsidiada pelo uso desse tipo de modelo, devido ao mínimo custo de processamento computacional e da boa concordância destas estimativas com os valores reais.

Dentre os modelos gaussianos estão o ISCST3 - Industrial Source Complex Short Term 3, CALINE4, HYWAY2, CALPUFF, SCREEN3 e o AERMOD, desenvolvidos nos Estados Unidos, na U.S.EPA, em geral sob encomenda para grupos de pesquisas em universidades e centros de pesquisa. AEROPOL, desenvolvidos no Observatório de Tartu, na Estônia e ADMS-3, desenvolvido na Universidade de Cambridge.

Estes modelos são de livre distribuição pela U.S.EPA, mas na sua versão original em FORTRAN, sejam nos códigos fonte ou em formas pré-compiladas. Estas são de mais difícil

utilização e requerem um tempo maior de aprendizado. Diante disso, algumas empresas, tais como a Lakes, criaram softwares comerciais com uma interface mais amigável, que usa os códigos originais em FORTRAN e o usuário tem uma interface mais confortável para trabalhar.

1.8.3. Modelo Caixa

Os modelos tipo caixa são baseados na conservação da massa. De modo simplificado, os modelos tipo caixa requerem como dados de entrada informações básicas sobre as condições meteorológicas e as emissões de poluentes. Dentro da caixa, os poluentes podem ser submetidos a diferentes processos, podendo-se incluir as reações químicas e a dinâmica das partículas, sendo permitido o movimento de poluentes dentro e fora da caixa. O interior da caixa é definido e a massa de ar é tratada como se estivesse bem misturada e as concentrações uniformes (HOLMES; MORAWSKA, 2006).

Uma das vantagens deste tipo de modelo é a possibilidade de retratar bem a dinâmica química e física das partículas na atmosfera, tendo em vista o tratamento detalhado do aerossol, contudo, a simulação é realizada sem nenhuma informação sobre as concentrações locais dos poluentes. Por esse motivo, eles não são adequados para modelar as concentrações de partículas em um ambiente local, onde as concentrações e a dinâmica das partículas são altamente influenciadas por mudanças locais no campo eólico e nas emissões (HOLMES; MORAWSKA, 2006).

Tal como cita Gomez (2017), os modelos caixa podem ter abordagens Euleriana ou Lagrangeana. A abordagem Euleriana ignora a estrutura espacial do fenômeno, supondo que os poluentes são distribuídos uniformemente no interior de um volume em forma de paralelepípedo. Esta distribuição supõe coeficientes de difusão infinitos, que provocam a propagação instantânea do poluente dentro da caixa. No modelo caixa Lagrangeano, os poluentes se propagam através de advecção dentro da caixa, segundo a velocidade média local e a direção do vento. Por desprezar a dispersão horizontal, estes modelos podem prever concentrações de poluentes mais altas do que as reais na direção dos ventos.

Martins, Fortes e Lessa (2015), citam como exemplo o modelo OSPM (Operational Street Pollution Model), desenvolvido na Dinamarca utilizado para situações de simulação em cânions urbanos, com predefinição de condições de baixo fluxo, através de uma modelagem que utiliza a

combinação de uma pluma de dispersão e um modelo em caixa, capaz de analisar compostos orgânicos voláteis e outros percursores fotoquímicos.

1.8.4. Modelos baseados em Fluidodinâmica Computacional (CFD)

Modelos de CFD são capazes de fornecer análises complexas do escoamento de fluidos baseando-se na conservação de massa, energia e de quantidade de movimento, através da resolução da equação de Navier-Stokes pelos métodos de diferenças finitas e volumes finitos (HOLMES e MORAWSKA, 2006).

A modelagem através da CFD possibilita a simulação numérica dos processos físicos e/ou físico-químicos que representam o escoamento, sendo utilizadas as equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento no domínio (dividido em elementos) e no tempo, são estimados os campos de concentração, velocidade, pressão, temperatura e as propriedades turbulentas. Distinguem-se pela capacidade de lidar com diversas condições de contorno e incluir geometrias complexas. Usualmente incluem modelos avançados do tratamento da turbulência, tornando-os apropriados para as aplicações de dispersão (GOMEZ, 2017).

Contudo, necessitam de um maior número de informações, como dados mais detalhados da topologia do sistema, condições iniciais de todos os componentes e condições de contorno para cada uma das direções (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Algumas aplicações são: aerodinâmica de veículos, hidrodinâmica de navios, engenharia de processos químicos, ventilação de ambientes de edifícios, engenharia marinha e, como no caso deste trabalho, avaliação de dispersão de poluentes na atmosfera (BOLOGNESI; MONTELATO, 2011).

Em Gomez (2017) foi utilizado o modelo ANSYS FLUENT para a análise do escoamento atmosférico e dispersão de material particulado em suspensão gerado por fontes estacionárias.

2. METODOLOGIA

Na metodologia serão descritas as características dos aterros avaliados: aterro sanitário de Seropédica (ASS) e aterro controlado de Jardim Gramacho (ACG). A descrição do modelo matemático será realizada de forma a demonstrar a maneira como este funciona para determinar a dispersão dos gases emitidos pela camada de cobertura intermediárias dos aterros citados. Os métodos utilizados para aquisição dos dados necessários para alimentar o modelo também serão descritos neste capítulo.

2.1. Características do Aterro Sanitário de Seropédica (ASS)

As características do ASS, descritas neste capítulo, foram obtidas através do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do empreendimento, do site da empresa(<https://ciclusambiental.com.br/responsabilidade-ambiental/>) e de alguns estudos que tiveram como local de trabalho este mesmo aterro.

O ASS está situado a 9 km do centro de Seropédica, a 11 km da APA do Guandu, a 17 km da Barragem/Captação/ETA Guandu e a 8 km da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), na Estrada Santa Rosa, as margens da Rodovia Arco Metropolitano, no município de Seropédica, Rio de Janeiro. A localização do ASS pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4. Localização do ASS.



O ASS está localizado em uma área útil de cerca de 2.226.000 m² (AMORIM, 2013). A Topografia do local tem características favoráveis à operação, com grandes áreas planas, além de dispor de áreas com disponibilidade natural de solos com presença de argila, que são usados como área de jazida para a cobertura diária dos resíduos (RIMA - SEROPÉDICA).

O ASS teve sua operação iniciada em 20 de abril de 2011 e recebe resíduos dos municípios de Rio de Janeiro, Seropédica, Itaguaí, Mangaratiba e outros (SNIS, 2020). Durante a operação do aterro, está prevista a cobertura diária das células de resíduos com uma camada de solo de 50 cm de espessura.

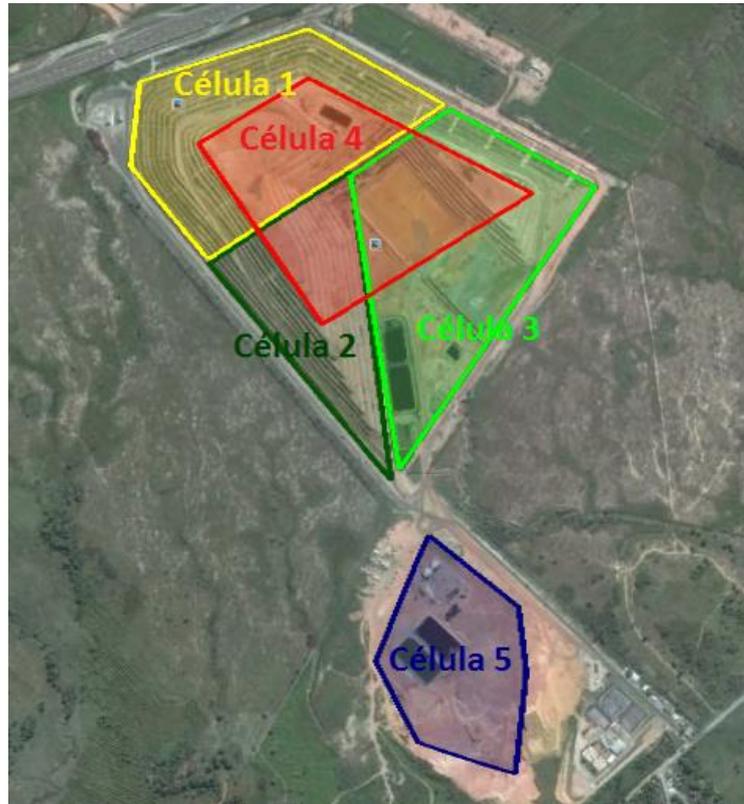
A operação do aterro é dividida em 5 diferentes fases (Vide Figura 5):

- Fase 1: preenchimento da célula 1, com área total de 141.441 m², altura de 65 m e 3.327.997 toneladas de resíduos;
- Fase 2: preenchimento da célula 2, com área total de 228.385 m², altura de 65 m e 8.198.218 toneladas de resíduos;
- Fase 3: preenchimento da célula 3, com área total de 256.699 m², altura de 65 m e 9.214.590 toneladas de resíduos;
- Fase 4: célula 4, que compreende no alteamento das células 1, 2 e 3 justas, com área total de 611.208 m², altura de 65 a 110 m e 12.358.000 toneladas de resíduos;
- Fase 5: preenchimento da célula 5, com área total de 394.123 m², altura de 82 m e 21.284.139 toneladas de resíduos.

A localização das 5 células é mostrada na Figura 5, onde a célula 1 está representada em amarelo, a célula 2 em verde escuro, a célula 3 em verde claro, a célula 4 em vermelho e célula 5 em azul.

Considerando as dimensões apresentadas e a quantidade de resíduos sólidos municipais igual a 3.280.786 toneladas, recebida no ano de 2019, o ASS pode ser enquadrado com o porte Excepcional VIII.

Figura 5. Células do ASS.



2.1.1. Caracterização do solo utilizado como camada de cobertura intermediária

O ASS foi projetado de forma que a execução do lançamento dos resíduos em células obedecesse a procedimentos básicos, que se caracterizam por células com altura de 4,0m, dispostas em taludes inclinados, sendo as camadas de resíduos descarregadas no pé do talude e empurradas com trator de esteira. A cobertura diária dos resíduos é realizada com solo ou materiais inertes (RIMA - SEROPÉDICA). Este sistema de cobertura é tido como convencional, o qual utiliza solo compactado, para cobrir os resíduos, com 50 cm de espessura (JOAQUIM JR, 2015).

Quanto à caracterização do solo, Joaquim Jr.(2015) realizou um estudo de comparação do desempenho de sistemas de cobertura (convencional, barreira capilar, e camada evapotranspirativa) em relação à infiltração de água pluvial no ASS. Dentre os tipos de coberturas intermediárias estudadas, estava a camada convencional, a qual foi construída utilizando o solo da mesma jazida, e foi utilizado o mesmo procedimento construtivo da camada de cobertura do aterro. Vale destacar que a pesquisa de Joaquim Jr. (2015) foi realizada na mesma época em que foram coletadas as amostras de emissão de biogás e por isso, seus resultados de caracterização do solo e dos ensaios

de compactação em laboratório e *in situ* serão utilizados para descrever as características da camada de cobertura intermediária do ASS.

A caracterização geotécnica do solo está apresentada no Quadro 7 (JOAQUIM JR, 2015). O solo apresentou 60% de areia, 30% de silte e 10% de argila, e índice de plasticidade de 22,1%, que o classificam, segundo o Sistema Unificado de Classificado dos Solos (SUCS), como areia siltosa (SM).

Quadro 7. Caracterização do solo empregado como camada de cobertura intermediária.

Parâmetros	Resultados
Granulometria	
Argila (%)	10
Silte (%)	30
Areia Fina (%)	14
Areia Média (%)	30
Areia Grossa (%)	16
Pedregulho (%)	0,0
Limites de Atterberg	
Limite de Liquidez (%)	56,5
Limite de Plasticidade (%)	34,4
Índice de Plasticidade (%)	22,1
Massa específica dos grãos (kNm^{-3})	27,5

Fonte: Adaptado de Joaquim Jr. (2015).

O ensaio de Proctor Normal indicou massa específica seca máxima de $15,19 \text{ kNm}^{-3}$ e umidade ótima de 23,5%. Foi realizado no campo um ensaio para a determinação da massa específica *in situ*, tendo sido definido valor de massa específica seca de $12,38 \text{ kNm}^{-3}$. O grau de compactação é determinado pela relação (em percentual) entre a massa específica seca determinada no campo e a massa específica seca máxima definida em laboratório; neste experimento resultou em um grau de compactação de 81,5%. O grau de compactação abaixo de 90% sugere que durante sua execução não ocorreu o controle de compactação e que em geral este solo foi compactado no ramo seco da curva de compactação, aumentando sua permeabilidade ao gás (MARIANO, 2008).

Em relação à permeabilidade à água do solo saturado em laboratório, realizado através do método de carga decrescente, esta apresentou valor de $4,84 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ com solo retirado da camada de cobertura no início do experimento, e valor de $1,21 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ em amostra retirada na mesma camada de cobertura depois de decorrido um ano de monitoramento (JOAQUIM JR, 2015; JOAQUIM JR *et al.* 2015). A ordem de grandeza dos valores encontrados corresponde a valores típicos de areias argilosas e siltosas não compactadas, sendo assim estes valores são elevados, considerando camada de cobertura compactada. Observa-se ainda que a exposição ao tempo

durante um ano aumentou significativamente o valor da permeabilidade à água. Foi determinada também a permeabilidade à água saturada *in situ*, após um ano da instalação da camada, utilizando o método do permeâmetro de carga constante modelo IAC, resultando em um valor de $2,97 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ (JOAQUIM JR, 2015).

Observa-se, assim, que o solo utilizado no ASS apresenta características impróprias para camadas de cobertura de aterros, já que o percentual de areia deste é muito elevado, fazendo que a permeabilidade à água seja alta. Salienta-se mais uma vez, no entanto, que esta é uma camada intermediária.

2.1.2. Licenciamento e emissão dos gases do ASS

No que diz respeito a questões relacionadas às emissões de gases, o RIMA do ASS não aborda itens sobre emissões pela camada de cobertura ou estudo da dispersão dos gases emitidos pelo aterro em questão. Vale destacar que este documento identifica os principais impactos para a fase de operação do aterro. Ao citar questões relacionadas à geração de emissões atmosféricas, o relatório atribui tais emissões apenas aos veículos e máquinas utilizadas na operação, desconsiderando emissões de qualquer tipo, proveniente da massa resíduo disposta, tal como pode ser observado no Quadro 8.

Quadro 8. Principais impactos gerados pelo aterro segundo o RIMA-ASS.

Compartmento ambiental	Principais impactos	Medidas mitigadoras/potencializadoras	Programas ambientais relacionados
Meio Físico	Geração de emissões atmosféricas e de material particulado.	Implantação de sistema de manutenção dos veículos e equipamentos;Regulação dos motores;Umidificação das vias;Implantação do cinturão verde.	Programa de proteção arbórea.
	Aumento de ruídos e vibrações.	Manutenção dos veículos e equipamentos;respeitar a área de segurança do trabalho;Uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI).	Programa de treinamento dos trabalhadores.
Meio Biótico	Risco de contaminação do lençol freático.	Implantação do sistema de impermeabilização e de drenagem.	Programa de monitoramento de qualidade das águas e efluentes.
	Risco de deslizamento de taludes.	Implantação dos sistemas de drenagem pluviais.	Programa de monitoramento geotécnico.
	Evasão da fauna.	Salvamento de eventuais espécies que estejam em deslocamento.	
Meio Antrópico	Deterioração do sistema viário existente.	Manutenção e melhoria das vias.	

Compartimento ambiental	Principais impactos	Medidas mitigadoras/potencializadoras	Programas ambientais relacionados
	Mudança no nível de informação sobre resíduos na comunidade.	Divulgação do empreendimento; Realização de palestras e reuniões.	Programa de comunicação social; Programa de educação ambiental.
	Risco de acidentes de trabalho.	Orientar os trabalhadores a quanto à área de segurança do trabalho, à saúde ocupacional e ao uso de EPI.	Programa de treinamento e capacitação do pessoal de operação.

Fonte: Adaptado de RIMA-ASS.

A conclusão deste relatório diz que está prevista a implantação de sistemas de drenagem para aproveitamento do biogás e com isso haverá uma redução nos níveis de emissões gasosas e consequente diminuição da emissão dos gases do efeito estufa.

A abordagem leva a intuir que as emissões gasosas provenientes da massa de resíduos são irrelevantes, tendo em vista a existência do sistema de drenagem de gases, não sendo levadas em consideração as emissões através da camada de cobertura, a existências de fissuras ou até mesmo os longos períodos em que os drenos de gás do aterro operam de forma passiva, liberando os gases captados diretamente para a atmosfera.

2.2. Características do Aterro Controlado de Jardim Gramacho (ACG)

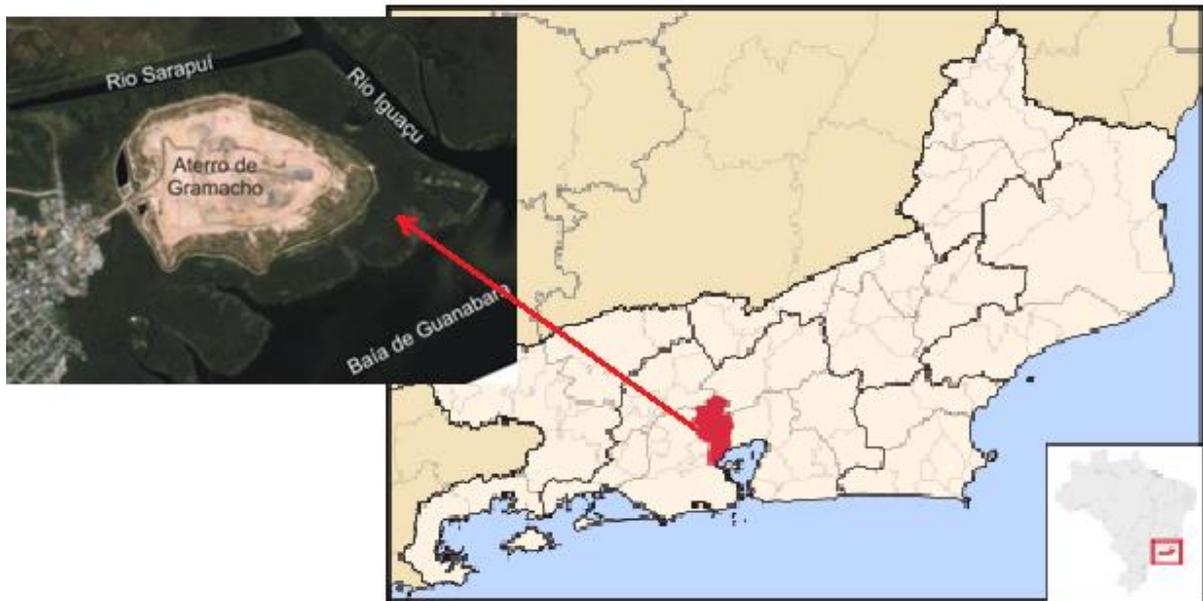
O ACG está localizado no município de Duque de Caxias, RMRJ, limita-se ao Norte com Petrópolis e Miguel Pereira; a Leste com a Baía da Guanabara e Magé; ao Sul com a cidade do Rio de Janeiro e a Oeste com São João de Meriti, Belford Roxo e Nova Iguaçu.

O aterro está situado na latitude de 22°44'S e no meridiano 43°16'W, às margens da Baía de Guanabara, em uma área de manguezal, como pode ser visualizado na Figura 6.

O ACG foi construído sobre uma região de mangue constituída por sedimentos argilosos e siltosos, de coloração cinza escuro e com grande teor de matéria orgânica. O lençol freático na região é raso e em períodos chuvosos chega à superfície do terreno (SILVA, 2008).

O ACG foi implantado em novembro de 1978, como resultado de um convênio firmado entre a COMLURB (Companhia Municipal de Limpeza Urbana), a FUNDREM (Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana) e o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) (JUNCA, 2004). Contudo, apesar de haver projeto para sua implantação, o ACG iniciou suas atividades como um lixão.

Figura 6. Localização do ACG.



O ACG foi a principal unidade de destino final de RSU coletados na cidade do Rio de Janeiro, como também de outros municípios da RMRJ, tais como Duque de Caxias, Queimados, Nilópolis e São João de Meriti. O ACG foi considerado como o maior da América Latina e ao longo de sua vida útil recebeu resíduos de diversas classes: urbanos, industriais, de construção civil e de serviços de saúde.

Segundo Soares (2011), no ano de 2008 a média de resíduos provenientes do município do Rio de Janeiro, encaminhados ao ACG foi de 6.256 toneladas por dia, o que representa um total de 2.283.440 toneladas por ano.

Silva (2008) cita que o ACG recebia, naquele ano, em média, 7.700 toneladas de resíduos urbanos por dia, sendo que 6.200 toneladas eram provenientes da cidade do Rio de Janeiro e 1.500 toneladas dos outros municípios da RMRJ.

Milani e Loureiro (2013) citam que no ano de encerramento o aterro recebia cerca de 7.000 toneladas diárias de resíduos de quatro cidades da Baixada Fluminense (Duque de Caxias, Nilópolis, São João de Meriti e Queimados), além de 85% dos detritos produzidos na cidade do Rio de Janeiro, o que representa uma média de 8.000 toneladas por dia.

Silva (2015) contabilizou os resíduos da cidade do Rio de Janeiro e de Duque de Caxias, demonstrando que o aterro recebia em média, mais de 9.000 toneladas de resíduos por dia, somente destas duas cidades.

No Quadro 9 foram inseridas as quantidades de resíduos destinadas ao ACG, segundo os autores mencionados anteriormente.

Quadro 9. Quantitativos de resíduos destinados ao ACG, segundo outras literaturas.

Referência	Fonte dos resíduos	Ano de referência	Quantidade destinada ao ACG(t dia ⁻¹)
Soares(2011)	Rio de Janeiro	2008	6.256
Silva (2008)	Rio de Janeiro e municípios metropolitanos	2008	7.700
Milani e Loureiro(2013)	Duque de Caxias, Nilópolis, São João de Meriti e Queimados	2012	15.000
Silva(2015)	Rio de Janeiro e de Duque de Caxias	2008	9.000

Ao observar os quantitativos apontados no Quadro 9, pode-se enquadrar o ACG, segundo Cunha (2019), como um aterro de porte Excepcional V a IX, enquadrando-o entre os maiores portes possíveis para aterros sanitários.

No que diz respeito aos resíduos industriais, a COMLURB gerou em 1984, um estudo relacionado ao recebimento de resíduos de origem industrial para o ACG, uma vez que a disposição já ocorria, trazendo transtornos para a operação (COMLURB, 1984).

Neste documento a COMLURB relata o recebimento, na época, de 120 toneladas de resíduos industriais por dia e a caracterização dos resíduos recebidos é demonstrada no Quadro 10. Dentre os resíduos citados estão solventes, tintas, lodo de estações de tratamento esgoto industrial, soda cáustica, resina, organofosforados de fabricação de inseticidas.

Quadro 10. Lista de resíduos industriais dispostos no ACG.

Empresa	Resíduo	Tipo	Armazenamento	Quantidade	Periodicidade
Tintas Ypiranga	Óleos e vernizes	Líquido	Tambor	1 /semana	-
	Varreduras e peles de tintas e vernizes	Sólido	-	2 /semana	-
Souza Cruz	Lama seca e compactada de ETI, pó de fumo e lixo doméstico.	Sólido	-	120 m ³ /trimestral	Trimestral
	Solventes	Líquido	Tambor	Acidental	-
Paramins	Terra diatomácea resíduos oleosos	Sólido	Granel	6 m ³ /dia	-
	Solda caustica exaurida	Líquido	Carro tanque	40 m ³ /semana	Diária (20000 L)
Recuperadora de Tambores Benfica	Óleo e água	Líquido	Tambor	-	Mensal (3x600 L)
Marmindustria	Cal, pó de mármore, pó de ferro.	Semi-sólido	Granel	15 m ³ /dia	Diária (1200 L) (2x p/dia)
Indústria Alimentícia Beira Alta	Restos de peixe	Semi-sólido	Tambor	-	Mensal (60000 L)

Empresa	Resíduo	Tipo	Armazenamento	Quantidade	Periodicidade
HidroJet	Condensados oleosos	Líquido	Carro tanque	-	Mensal (600 L)
Tanoaria Bonsucesso	Solventes, tintas, solda caustica saturada	Líquido	-	Irregular	Bimestral
	Madeira, pedaços de tambores	Sólido	-	Irregular	Bimestral
	Resinas	Semi-sólido	-	Irregular	Bimestral
Coca-Cola	Lodo da ETI	Líquido	Tambor	2,8 m ³ /dia	Semanal (2000 L)
Trans-Lift	Limpeza de esgoto	Líquido	Carro tanque	-	Diária (8000 L)
Brahma	Torta de filtração	Semi-sólido	Tambor	-	Diária
Sargitários Decoração	Gesso	Semi-sólido	Granel	4 m ³ /mês	Mensal (7280 kg)
CYANAMID	Organofosforados e piretróides (inseticidas)	Líquido	Tambor	1-2 m ³ /mês	Trimestral (5800 m ³)
Underberg	Torta de filtração	Sólido	Granel	-	Trimestral
Leusado	Óleo	Líquido	Tambor	-	-

Fonte: Adaptado de COMLURB (1984).

O relatório da COMLURB (1984) cita ainda que havia cerca 400 indústrias suspeitas de destinar resíduos industriais no ACG nesta época.

Após cerca de 20 anos de operação como um lixão foram implantadas técnicas a fim de amenizar os impactos provocados, por isso passou a ser classificado como um aterro controlado, por este motivo suas características técnicas e estruturais eram menos avançadas do que as utilizadas em aterros sanitários.

Barbosa (1994) cita que no ano de 1991 foi feito um convênio entre a COPPE/UFRJ e a COMLURB, visando à elaboração de um projeto completo de operação e recuperação da área do ACG. O estudo de Barbosa (1994) concluiu que o solo de base do aterro é essencialmente constituído por argila mole orgânica, o qual possui um índice de permeabilidade à água baixa, na ordem de 10^{-10} a 10^{-11} m s⁻¹. Este resultado justificou e norteou a recuperação técnica da área do aterro, já que o solo existente é favorável à contenção de líquidos, minimizando o fluxo de lixiviado para a fundação; no entanto, a migração destes contaminantes pode ocorrer por difusão molecular (RITTER, 1998).

Uma vez confirmada à viabilidade técnico-econômica do Projeto de Recuperação do Aterro de Gramacho, adotaram-se soluções, tais como a construção de uma barreira lateral em todo o seu

perímetro, utilizando a argila local de baixa permeabilidade à água, que minimiza o extravasamento do lixiviado que escorria pelas laterais do aterro e costumeiramente atingia o manguezal do entorno do aterro.

Vale ressaltar que no ano em que o aterro foi implantado, poucas eram as diretrizes e legislações nacionais que levavam em consideração as questões ambientais relacionadas a atividades como esta. Sendo assim, não houve um estudo técnico prévio demonstrando os impactos do aterro para o ambiente local. Tampouco foram consideradas as emissões de gases através da camada de cobertura intermediária do aterro.

O encerramento das atividades operacionais ACG se deu em 03 de junho de 2012, totalizando 34 anos de funcionamento. Através de imagens de satélite, observa-se que após seu encerramento o ACG conta com uma área de cerca de 1.300.000 m² e o talude superior chega a 55 metros acima do nível do mar.

A partir de 2013 passou a haver um monitoramento mais extensivo dos gases emitidos pela camada de cobertura, uma vez que foi implantada uma usina de purificação de biogás, a fim de utilizar o CH₄ gerado pela degradação dos resíduos em combustível, para tanto foram instalados drenos em todo aterro, para captação do biogás.

A empresa responsável pela operação da usina é a Gás Verde e o contrato foi firmado com a Petrobras para suprir as necessidades energéticas da refinaria Duque de Caxias, tal como foi citado no site <http://www.rio20.gov.br/parceiros/fornece/Gas-verde-Novo-gramacho.html>.

2.2.1. Caracterização do solo utilizado como camada de cobertura intermediária

A caracterização de solo apresentada neste item foi obtida por Guedes (2007), que realizou um estudo do fluxo de gases através do solo de cobertura do ACG. Neste estudo foi realizada a caracterização do solo de cobertura de três pontos diferentes do ACG, chamados pelo autor de P1, P2 e P3.

Considerando o histórico de operação do aterro e suas grandes dimensões sabe-se da impossibilidade de determinar que as características do solo são as mesmas para toda camada de cobertura do aterro. Contudo, nesta pesquisa, não foi possível realizar a caracterização do solo no local em que foram coletadas as amostras de gás, pelos motivos que serão relatados no item 3.6.2.

Posto isto, mas sabendo-se da importância das características da camada de cobertura para emissão de gás em aterros sanitários, serão detalhados os pontos avaliados por Guedes (2007). Os

pontos foram escolhidos pelo autor levando-se em consideração aspectos que, julgados por ele, influenciariam na percolação de biogás e na operacionalidade do ensaio. Foram escolhidos locais planos, longe de taludes, distantes de flare, vias internas, praças de despejo, movimentação de catadores e de pontos com diferentes tempos de fechamento de cobertura (6 meses, 2 anos e 4 anos) (GUEDES, 2007).

A localização dos pontos P1, P2 e P3 pode ser observada na Figura 7.

Figura 7. Localização dos pontos P1, P2 e P3 no ACG.



Fonte: Adaptado de Guedes (2007).

Uma vez que a camada de cobertura de solo do ponto P3 encontrava-se misturada como entulhos, ferros, peças de madeira, plásticos e borrachas, não foi possível realizar ensaios de caracterização do solo neste ponto. Vale destacar que as mesmas condições foram identificadas para o ponto onde foram coletadas as amostras de gás deste estudo. Nas Figuras 8 e 9 podem ser visualizadas as imagens da camada de cobertura do ponto P3 e do ponto de coleta de gás deste estudo.

Figura 8. Imagem do ponto P3.



Fonte: Guedes (2007).

Figura 9. Imagem do ponto de coleta de amostras no ACG.



O ponto P1 estava situado a cota de 35 metros acima do nível do mar. A camada de cobertura havia sido implantada há 4 anos e apresentava uma espessura de 55 cm. O ponto P2 estava a 17 metros do nível do mar e a camada de cobertura havia sido implantada há 6 meses e apresentava espessura de 60 cm.

Para caracterização do solo o autor realizou ensaios de granulometria, limite de liquidez e de plasticidade, peso específico dos grãos e contração do solo. Os resultados obtidos para os pontos P1 e P2 são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11. Caracterização do solo empregado como camada de cobertura intermediária do ACG.

Parâmetros	P1	P2
Granulometria		
Argila (%)	27	0
Silte (%)	39	30
Areia Fina (%)	9	40
Areia Média (%)	18	14
Areia Grossa (%)	7	8
Pedregulho (%)	0,0	8
Limites de Atterberg		
Limite de Liquidez (%)	54,5	-
Limite de Plasticidade (%)	20,8	-
Índice de Plasticidade (%)	33,7	-
Limite de Contração (%)	36,78	24,10

Fonte: Adaptado de Guedes (2007).

O solo do ponto P1 apresentou 34% de areia, 39% de silte e 27% de argila, e índice de plasticidade de 33,7%, que o classificam, segundo o Sistema Unificado de Classificado dos Solos (SUCS), como areia argilosa de plasticidade (SC). Além disso, foi realizado o ensaio de permeabilidade à água do solo, através de amostra retirada no campo, que demonstrou coeficiente de permeabilidade à água igual a $1,6 \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$. O ensaio de Proctor Normal indicou massa específica seca máxima de $15,3 \text{ kNm}^{-3}$ e umidade ótima de 23,5% para o solo P1.

Para a análise da composição mineralógica destes solos, executou-se o ensaio de difratometria de raio X (DRX). O resultado comprova a hipótese de que no solo de P1 há ocorrência de esmectita, que é um argilomineral expansível na presença da água com alta capacidade de troca catiônica.

O solo P2 não apresentou percentual de argila e por isso não foi possível à obtenção dos Limites de Atterberg. Segundo o Sistema Unificado de Classificado dos Solos (SUCS), o solo foi classificado com areia siltosa (SF). O ensaio de permeabilidade à água obteve-se coeficiente $9,1 \times 10^{-8} \text{ m s}^{-1}$. E no ensaio de compactação, a massa específica de $17,8 \text{ kNm}^{-3}$ e o valor da umidade ótima de 13,8%. No resultado de ensaio de difratometria de raio "X" para P2, não foi observado a presença de argilominerais expansíveis.

Como pode ser observado com os resultados apresentados anteriormente, os solos amostrados apresentaram características muito diferentes, sendo o solo P1 mais próprio para utilização em camadas de cobertura de aterros, com maior percentual de argila e menor permeabilidade à água, já o solo P2 apresentou maior percentual de areia e permeabilidade à água maior.

Os resultados encontrados por Guedes (2007) demonstram avarias na condição da camada de cobertura no ACG ao longo da sua história, impossibilitando determinar que estas sejam as características gerais de toda a camada de cobertura do aterro.

2.3. Dados meteorológicos

Para obtenção de dados meteorológicos no momento da coleta de amostras em campo foi utilizado o termo-higro-anemometro-luxímetro digital portátil, modelo Thal-300, apresentado na Figura 10. O equipamento possibilitou a coleta de informações como a temperatura do ar, teor de umidade do ar, pressão e intensidade do vento durante os dias de amostragem.

As informações meteorológicas coletadas através do uso deste equipamento não foram utilizadas para modelagem de dispersão dos poluentes, contudo foram analisadas juntamente com os dados de emissão obtidos em cada um dos aterros avaliados.

Figura 10. Medidor portátil termo-higro-anemometro-luxímetro digital.



Os dados meteorológicos de entrada do AERMET foram obtidos a partir de duas bases de dados: Estação Meteorológica operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia, dados estes que foram solicitados através do site na internet do instituto (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/mapaEstacoes>) e dados de observações meteorológicas automatizadas em aeroportos, que foram solicitados através do site do Iowa Environmental Mesonet (IEM) (https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=BR_ASOS).

As estações escolhidas para obtenção de dados para o ASS foram a Estação Meteorológica Automática Seropédica-Ecológica Agrícola – A601, que está localizada próximo ao Centro de

Pesquisas da EMBRAPA de Seropédica, com latitude $-22,757868^\circ$, longitude $-43,684843^\circ$ e altitude 35 m, a cerca de 9 km de distância em linha reta do ASS. A Estação do aeroporto de Santa Cruz (SBSC), com latitude $-22,9323^\circ$, longitude $-43,7191^\circ$ e altitude de 3 m, a cerca de 15 km de distância em linha reta do ASS. A localização das Estações Meteorológicas em relação ao ASS pode ser visualizada nas Figuras 11 e 12.

Para o ACG foi escolhida a Estação Meteorológica Automática Duque de Caxias – Xerém – A603, que está localizada próximo no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), com latitude $-22,589^\circ$, longitude $-43,282^\circ$ e altitude 22 m, a cerca de 17 km de distância em linha reta do ACG e a Estação do aeroporto do Galeão (SBGL), com latitude $-22,8089^\circ$, longitude $-43,2437^\circ$ e altitude de 6 m, a cerca de 7 km de distância em linha reta do ACG. A localização das Estações Meteorológicas em relação ao ACG pode ser visualizada nas Figuras 13 e 14.

Vale ressaltar as grandes distâncias entre as estações que disponibilizam dados meteorológicos e os aterros estudados. Contudo, uma vez que não há medição destes dados nos próprios aterros e que estes são imprescindíveis para alimentar o modelo matemático de dispersão, as estações meteorológicas e aeródromos apontados foram os locais mais próximos possível das fontes de emissão (aterros) que possuíam uma base de dados suficiente necessária para o cálculo da dispersão da pluma de poluentes.

Figura 11. Localização da estação Meteorológica Automática Seropédica-Ecológica Agrícola.



Fonte: Adaptado de <https://mapas.inmet.gov.br/>, em 28/06/2021.

Figura 12. Localização da estação do aeroporto SBSC.



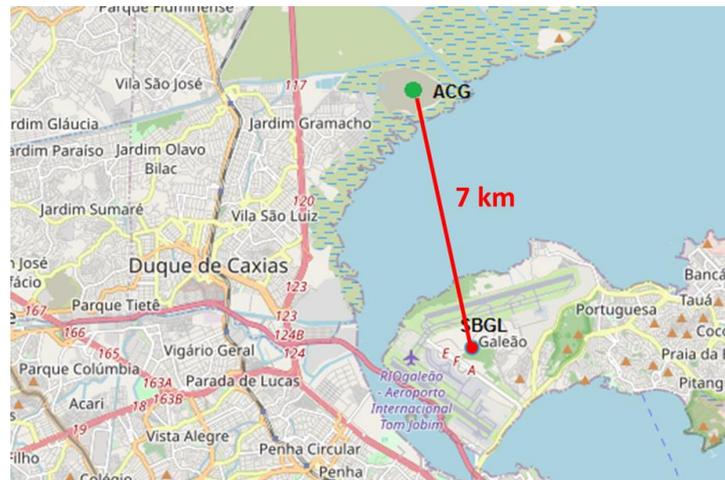
Fonte: Adaptado de https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=BR_ASOS, em 03/11/2021.

Figura 13. Localização da Estação Meteorológica Automática Duque de Caxias – Xerém.



Fonte: Adaptado de <https://mapas.inmet.gov.br/>, em 30/06/2021.

Figura 14. Localização da estação do aeroporto SBGL.



Fonte: Adaptado de https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=BR_ASOS, em 03/11/2021.

Obtiveram-se valores diários e horários de temperatura instantânea, máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$); umidade instantânea, máxima e mínima (%); a temperatura do ponto de orvalho instantâneo, máximo e mínimo ($^{\circ}\text{C}$); pressão atmosférica instantânea, máxima e mínima (hPa); velocidade (m s^{-1}), direção e rajadas de vento e radiação solar (kJ m^{-2}), características e altura das nuvens, tempo presente e visibilidade.

O período dos dados solicitados para ASS foi de maio de 2014 a maio de 2015 e para ACG foi de janeiro a dezembro de 2011. Estas datas correspondem aos períodos em que as amostras foram coletadas em cada um dos aterros. Após isto, os dados foram utilizados para geração de blocos de notas para posterior uso do pré-processador meteorológico, AERMET.

2.4. Dados topográficos

Para obter dados que retratassem as regiões próximas aos ASS e ACG, utilizou-se a ferramenta *Google Earth Pro*, para determinar pontos próximos à área estudada, de maneira a alimentar o modelo AERMOD, com dados das coordenadas (em UTM) e altimetria de cada um dos aterros.

Para a obtenção destes pontos foi utilizado o programa QuantumGis, juntamente com o site Zonums, os quais possibilitaram que estes sejam obtidos de maneira automática, gerando uma planilha em Excel com os dados necessários para o bloco de notas que a alimenta o pré-processador AERMAP.

O QuantumGis é um programa de Sistema de Informação Geográfica capaz de gerar, visualizar, editar, analisar dados e compor mapas. Já o Zonums é uma página (<http://www.zonums.com/>) que através da programação, disponibiliza ferramentas que agilizam a realização determinadas ações computacionais. Neste caso o Zonums foi utilizado para conversão automática das coordenadas em graus para UTM.

Vale destacar que as imagens utilizadas são fonte do modelo digital de elevação SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com escala de resolução espacial de 30 metros.

2.5. Dados de emissão

2.5.1. ASS

Os dados de emissão do ASS utilizados foram levantados pela própria autora, em pesquisa do mestrado (BORBA, 2015).

As amostras foram coletadas entre os meses de julho de 2014 e janeiro de 2015 para análise de GEE (CH₄ e CO₂) e BTEX. Os pontos em que foram coletadas amostras de GEE foram diferentes dos pontos em que foram coletados BTEX. Por isso para GEE foram coletadas amostras em 21 diferentes pontos na camada de cobertura e para BTEX em 13 diferentes pontos. Todos os pontos foram amostrados uma única vez.

Na Figura 15 podem ser observados todos os pontos em que foram realizadas coletas de amostras de GEE (vermelho) e de BTEX (em preto) no platô superior da célula 1 (em amarelo) do ASS.

Figura 15. Localização do pontos amostrados na célula 1 do ASS.



A escolha dos pontos para a coleta de gases na camada de cobertura intermediária do platô superior do ASS foi realizada levando em consideração imperfeições na camada de cobertura, de maneira a recobrir a maior área do platô superior do aterro. Com isso, foram coletadas amostras em pontos com fissuras e em pontos onde a superfície da camada estava íntegra.

No Quadro 12 são apresentadas as características dos pontos amostrados: data e hora da coleta, gases coletados e existência ou não de fissuras no momento da amostragem.

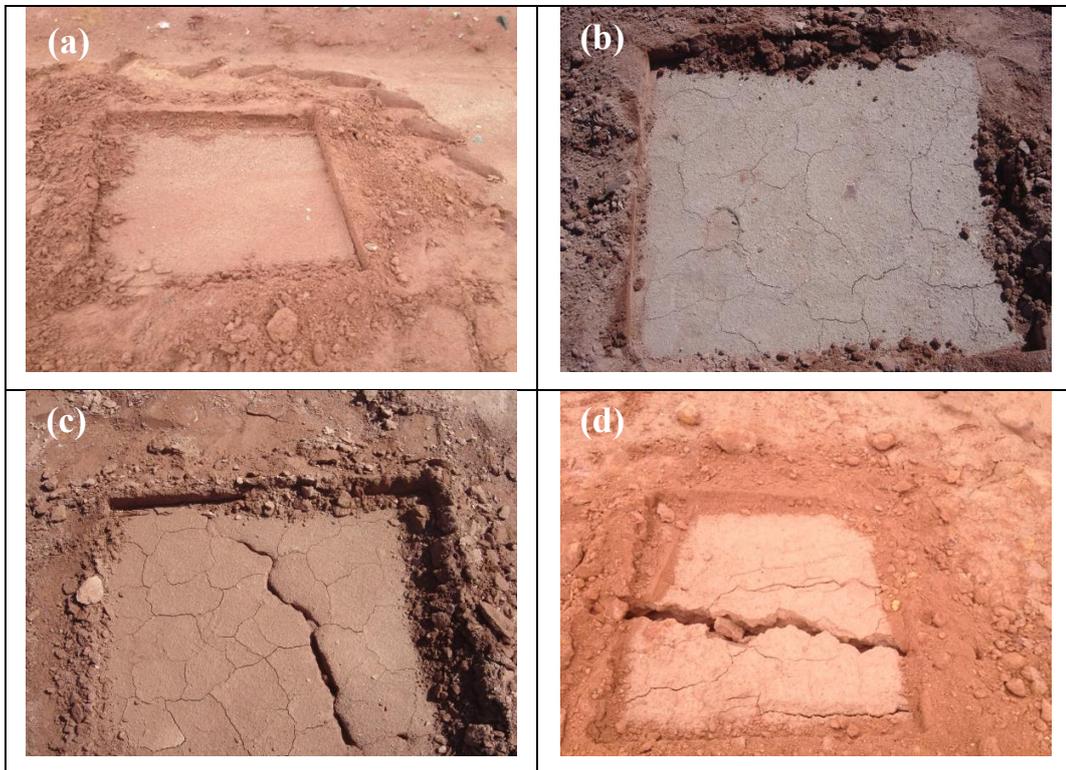
Quadro 12. Dados de campanha do pontos amostrados no ASS.

Data de Coleta	Horário de Coleta	Pontos	Existência de fissuras no momento da coleta
Jul/2014	09:30	P1 – GEE	Sim (Grande)*
Jul/2014	10:00	P2 – GEE	Não
Jul/2014	11:30	P3 – GEE	Não
Jul/2014	12:00	P4 – GEE	Sim (Pequena)*
Ago/2014	11:30	P5 – GEE	Sim (Média)*
Ago/2014	12:30	P6 – GEE	Não
Set/2014	09:30	P7 – GEE	Não
Set/2014	10:00	P8 – GEE	Não
Set/2014	12:00	P9 – GEE	Não
Out/2014	09:00	P10 – GEE	Não
Out/2014	10:30	P11 – GEE	Não
Out/2014	12:30	P12 – GEE	Não
Nov/2014	10:30	P13 – GEE	Não
Nov/2014	11:00	P14 – GEE	Não
Nov/2014	11:30	P15 – GEE	Não
Nov/2014	12:00	P16 – GEE	Sim (Pequena)*
Jan/2015	10:00	P17 – GEE	Não
Jan/2015	10:30	P18 – GEE	Não
Jan/2015	10:30	P19 – GEE	Não
Jan/2015	11:30	P20 – GEE	Não
Jan/2015	11:30	P21 – GEE	Não
Jul/2014	09:30	P1 – BTEX	Não
Ago/2014	09:30	P2 – BTEX	Não
Set/2014	10:30	P3 – BTEX	Não
Set/2014	11:30	P4 – BTEX	Não
Out/2014	09:00	P5 – BTEX	Não
Out/2014	10:00	P6 – BTEX	Sim (Pequena)*
Nov/2014	11:00	P7 – BTEX	Sim (Grande)*
Nov/2014	11:30	P8 – BTEX	Não
Nov/2014	12:00	P9 – BTEX	Sim (Grande)*
Nov/2014	12:30	P10 – BTEX	Não
Jan/2014	10:00	P11 – BTEX	Não
Jan/2014	10:30	P12 – BTEX	Sim (Pequena)*
Jan/2014	12:00	P13 – BTEX	Sim (Média)*

Verifica-se que foram encontradas fissuras na camada de cobertura do platô superior independente da época do ano em que ocorreram as amostragens.

Para entendimento da classificação do tamanho das fissuras, Borba (2015) apresentou imagens destas imperfeições, tal apresentado na Figura 16.

Figura 16. Imagens das fissuras na camada de cobertura intermediária do ASS.



Fonte: Adaptado de Borba (2015).

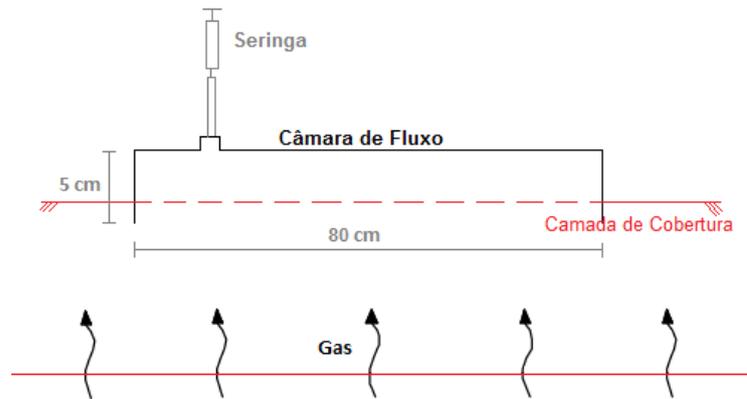
Legenda: (a) semifissura; (b) fissuraspequenas; (c) fissuramédia; (d) fissuragrande.

A coleta de amostras de GEE na camada de cobertura foi realizada utilizando duas câmaras de fluxo quadradas e metálicas, com altura de 5 cm, 0,66 m² de área e 33,2 L de volume segundo o desenho esquemático apresentado na Figura 17.

Para a amostragem dos GEE foram utilizadas seringas de polipropileno de 60 mL que possuem válvula de abre-e-fecha e as amostras foram coletadas em intervalos de 5 minutos, sendo a primeira coleta no momento em que a placa é cravada no solo e o tempo total de amostragem foi de 15 minutos, sendo coletadas 4 amostras em cada um dos pontos. As seringas foram conectadas à câmara de fluxo utilizando uma mangueira plástica para a retirada de amostras. As campanhas em campo se iniciavam sempre no período da manhã, próximo as 9:00 h, sendo finalizadas próximo as 13:00 h.

A fim de melhor selar a câmara de fluxo no momento da cravação, de forma a proteger principalmente as extremidades, esta era selada com o solo de cobertura do aterro e água, para que não houvesse escape dos gases que ali ficaram confinados, e a parte superior era coberta para que não fosse aquecida pelo sol.

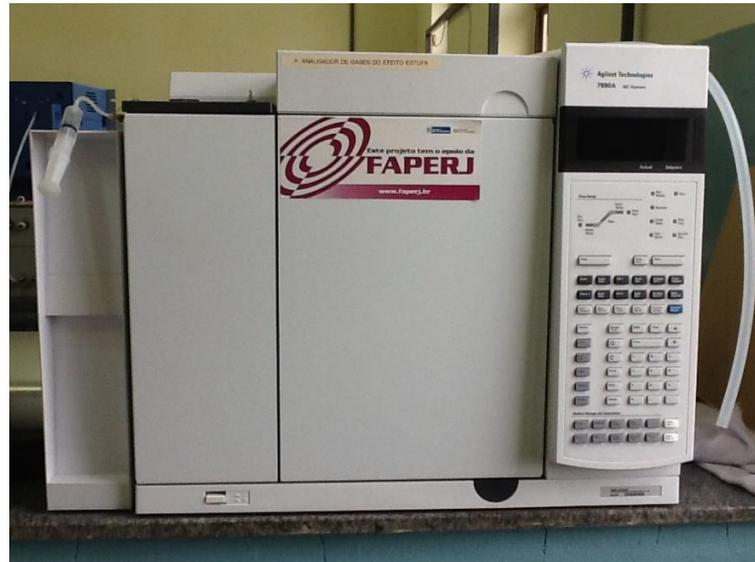
Figura 17. Ilustração esquemática da coleta de GEE no ASS.



As amostras foram armazenadas em caixas de isopor até a chegada ao laboratório, onde foram analisadas por cromatografia gasosa para determinação das concentrações de CO₂ e CH₄, utilizando um equipamento Agilent 7890A com três detectores: detector de condutividade térmica (DCT) para medir CO₂ em altos níveis de concentração, O₂ e N₂; um detector de captura de elétrons (DCE) foi utilizado para determinar as concentrações de N₂O e um detector por ionização de chama (DIC) para medir CH₄ e CO₂ em baixas concentrações.

O sistema cromatográfico utiliza dois canais com colunas empacotadas 1/8" (HayeSep Q80/100). O primeiro canal usa duas válvulas para FID e DCT, em série para medir CO₂ usando o metanizador para converter CO₂ em CH₄. O outro canal com duas válvulas foi usado para medir N₂O no micro DCE. Duas pré-colunas foram usadas para reter compostos pesados e enviar oxigênio e água para o meio externo. O "loop" de 1,0 mL foi mantido na temperatura de 60°C e as válvulas a 100°C. O DIC foi operado a 250°C, DCE a 350°C e DCT a 200°C. Hélio foi usado como fase móvel a 21 mLmin⁻¹. Os coeficientes de determinação (R²) para as curvas em triplicata foram de 0,99 para CO₂, CH₄ e 0,98 para N₂O. O cromatógrafo utilizado pode visualizado na Figura 18.

Figura 18. Cromatógrafo gasoso utilizado para análise de GEE.



Para a realização da calibração do cromatógrafo, foram realizados levantamentos preliminares, a fim de se conhecer previamente a concentração de GEE emitidas através da camada de cobertura.

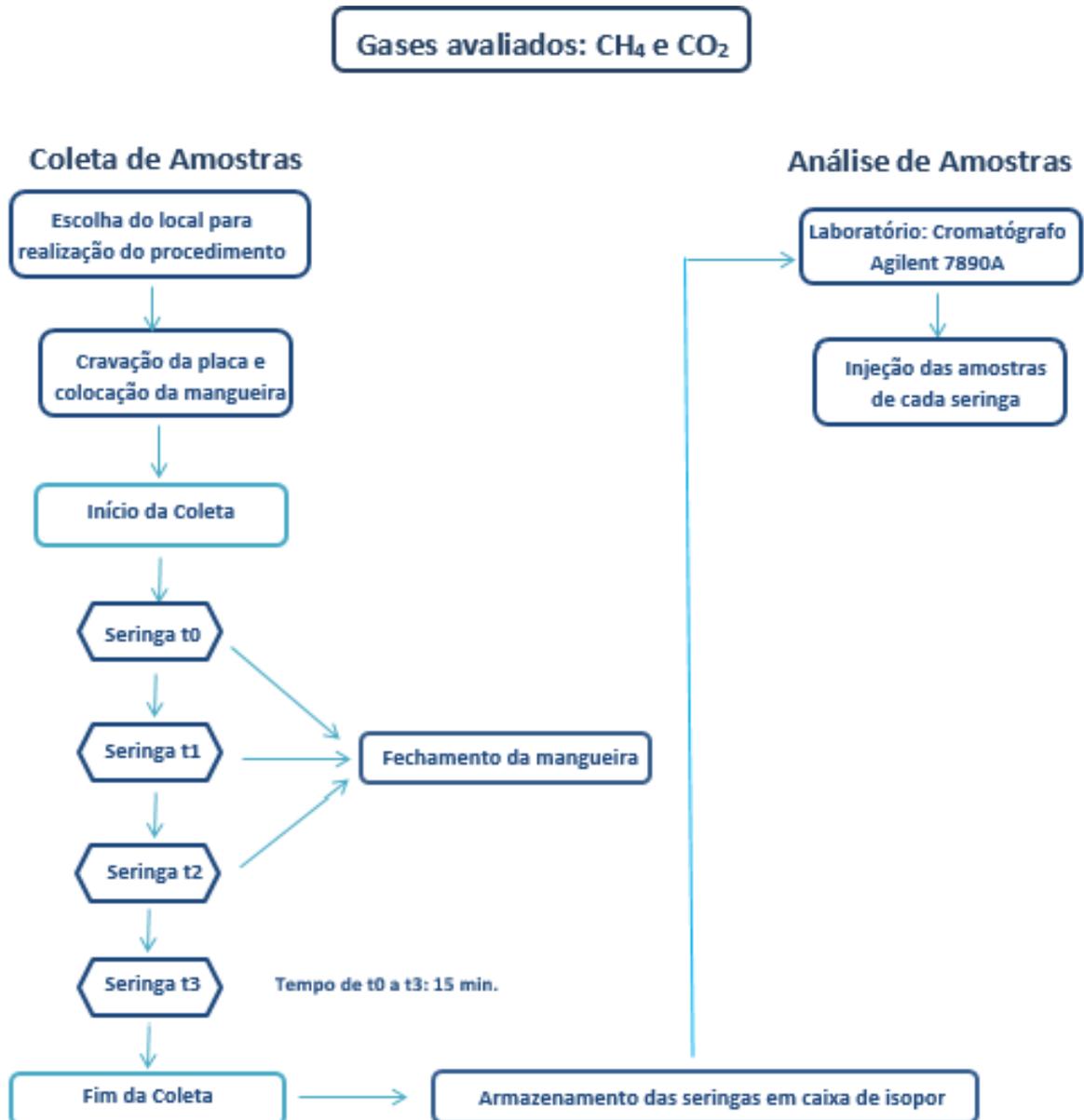
A calibração do equipamento para análise de GEE para amostras foi realizada utilizando-se padrões externos (Air Liquide Gases) e as curvas são demonstradas nos Apêndice III. Os coeficientes de determinação (R^2) para as curvas em triplicata são apresentados no Quadro 13, assim como os limites de detecção e de quantificação.

Quadro 13. Limites de detecção e quantificação das curvas analíticas de GEE

Gases	Limite de Detecção	Limite de Quantificação	Coefficiente R^2
CO ₂	0,15 ppm	5000 ppm	0,9998
CH ₄	35 ppm	1000 ppm	0,9969

Na Figura 19 pode ser observado o resumo do método de amostragem e análise utilizados para os GEE no ASS.

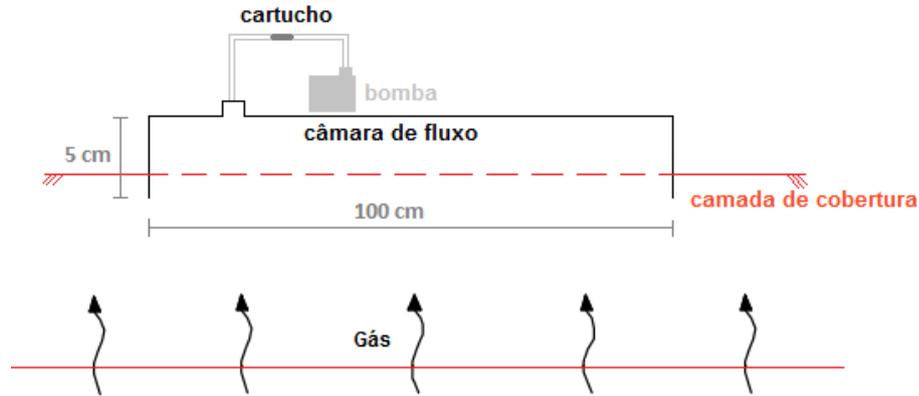
Figura 19. Resumo do método de coleta e análise de amostras de GEE no ASS.



Para a coleta de amostras de BTEX foi utilizada câmara de fluxo quadrada metálica, com altura de 5cm, com 1m² de área e 50L de volume, detalhada na Figura 20.

Para a amostragem dos BTEX foram utilizados cartuchos de carvão ativado com leito duplo, com 100 mg de leito principal e 50 mg de leito de segurança, marca SKC, referência 226-01, acoplados em bombas amostradoras de ar da marca Sensidyne BDX-II. A vazão das bombas foi calibrada a 0,7 L min⁻¹ utilizando o calibrador BiosDefender 510 M.

Figura 20. Ilustração esquemática da coleta de BTEX no ASS.



Para a amostragem dos BTEX oriundos das emissões, a bomba de amostragem e o cartucho foram conectados à câmara de fluxo e o tempo de coleta foi de 1 hora. Tal como para os GEE, a campanha de coleta das amostras se iniciava sempre no período da manhã, próximo as 9:00 h, sendo finalizadas próximo as 13:00 h.

Posteriormente as coletas, os cartuchos foram armazenados em caixas de isopor e levados ao laboratório para análise. Para isso foram as amostras foram extraídas. Através do rompimento dos cartuchos, o carvão ativado colocado em vial selado de 2 mL, foi adicionado de 1 mL de diclorometano grau HPLC a -20°C , e o conteúdo foi levado para banho de ultrassom por 10 minutos.

A análise química das amostras de BTEX foi realizada utilizando o cromatógrafo de fase gasosa Varian 450GC, acoplado a um espectrômetro de massas Varian MS220, com uma coluna capilar HP-1, de 30 m de comprimento, 0,32 mm de espessura e 0,25 μm de filme. A fase móvel foi o Hélio a $1,2\text{ mLmin}^{-1}$, com volume de injeção de 1,0 μL sem divisão de amostra e injetor a 200°C . A programação de temperatura da coluna foi de 40°C por 4 min, seguido de rampa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ até 220°C . Na Figura 21 pode ser observado o resumo dos métodos de amostragem e análise por cromatografia utilizados para os BTEX no ASS e a Figura 22 apresenta uma imagem do cromatógrafo e o espectrômetro de massas utilizados.

Figura 21. Resumo do método de coleta e análise de amostras de BTEX no ASS.

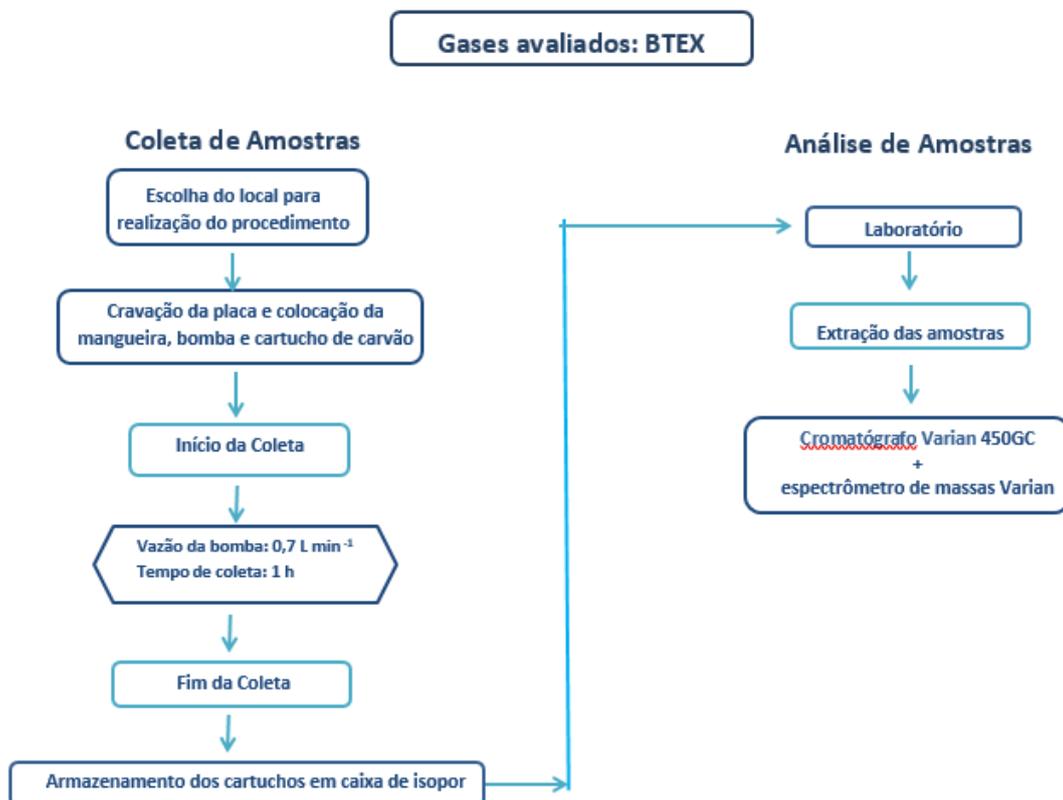


Figura 22. Cromatógrafo gasoso e espectrômetro de massas utilizados para análise de BTEX.



A curva analítica foi realizada usando padrões externos em triplicata, com concentrações de 40 a 1000 $\mu\text{g L}^{-1}$. Os limites de detecção foram de 12 $\mu\text{g L}^{-1}$, de quantificação 40 $\mu\text{g L}^{-1}$ e coeficiente de determinação R^2 das curvas ficaram entre 0,96 e 0,99. Os limites de detecção e de quantificação e coeficiente R^2 de tais curvas são apresentados no Quadro 14. As curvas analíticas utilizadas para realização da análise destes gases se encontram no Apêndice III.

Quadro 14. Limites de detecção e quantificação das curvas de calibração de BTEX.

Gases	Limite de Detecção	Limite de Quantificação	Coefficiente R^2
Benzeno	12 $\mu\text{g L}^{-1}$	40 $\mu\text{g L}^{-1}$	0,9552
Tolueno	12 $\mu\text{g L}^{-1}$	40 $\mu\text{g L}^{-1}$	0,9987
Etilbenzeno	12 $\mu\text{g L}^{-1}$	40 $\mu\text{g L}^{-1}$	0,9987
m+p - Xilenos	12 $\mu\text{g L}^{-1}$	40 $\mu\text{g L}^{-1}$	0,9991
o - Xileno	12 $\mu\text{g L}^{-1}$	40 $\mu\text{g L}^{-1}$	0,999

A metodologia de coleta e análise de GEE e BTEX no ASS estão especificadas com maior detalhamento em Borba (2015).

2.5.2. ACG

Os dados de emissão do ACG utilizados neste trabalho foram levantados pela aluna ouvinte Leticia Cotrin, do Programa de Pós-graduação em Química da UERJ, contudo, por questões pessoais, a aluna não ingressou efetivamente no programa e os resultados de seu trabalho não foram divulgados anteriormente.

As amostras do ACG foram coletadas entre os meses de janeiro e dezembro do ano de 2011 para determinação de CO, GEE (CO_2 , CH_4 e N_2O), BTEX e HC (C_6 a C_{12}), ou seja, hidrocarbonetos com 6 carbonos a 12 carbonos em sua composição.

As coletas foram realizadas sempre as quartas-feiras, tendo em vista a disponibilidade de tempo que havia na época, sendo assim foram realizadas 48 visitas de campanhas, sempre as quartas feiras ou em dias subsequentes caso houvesse chuva. O ponto dentro do aterro escolhido para coleta de amostras foi o mesmo em todas as campanhas realizadas e nele foram amostrados CO, GEE, BTEX e HC. As amostras foram coletadas entre 11:00 e 12:00 h.

Na Figura 23, podem ser visualizadas algumas imagens da área do ACG onde foram realizadas as coletas. Tal como foi citado no capítulo evidencia-se o estado da camada de cobertura de solo misturada a resíduos sólidos, demonstrando que a implantação da cobertura não feita seguindo as especificações das normas e legislações. Motivo que impossibilitou a realização da caracterização do solo de cobertura.

Figura 23. Imagem da região de coleta das amostras no ACG.



A coleta das amostras de biogás camada de cobertura foi realizada utilizando câmara PVC, com volume de 30 L, diâmetro de 40 cm e altura de 24 cm. A fim de melhor selar a câmara de fluxo no momento da cravação, de forma a proteger principalmente as extremidades, esta foi enterrada no solo até 5 cm de profundidade. Foi instalada uma válvula posicionada no fundo da câmara para retirada das amostras.

As amostras de GEE e CO foram coletadas utilizando bolsas de Tedlar que possuem válvula de abre-e-fecha. As bolsas foram acopladas em bombas amostradoras de ar da marca KNF UNMP 850 KNDC. A vazão das bombas foi calibrada a $1,0 \text{ L min}^{-1}$ utilizando o Sierra Mass Flow Meter 841 durante o período de 10 minutos.

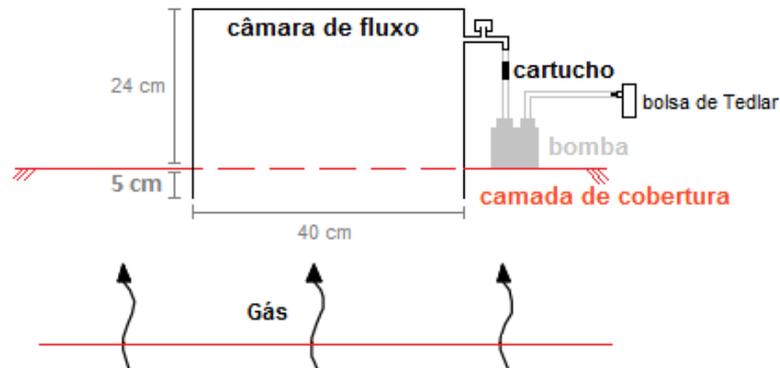
Para a amostragem dos BTEX e HC foi utilizada a mesma câmara de fluxo descrita para coleta de GEE e CO, contudo para armazenamento prévio das amostras foram utilizados cartuchos de carvão ativado com leito duplo, com 400 mg de leito principal e 200 mg de leito de segurança, marca Supelco, referência 20228, acoplados as mesmas bombas de ar e sistema de calibração, contudo a duração deste tipo de amostragem era de 1 h.

As amostras foram coletadas simultaneamente e sempre no mesmo ponto do aterro, tal como demonstrado no desenho esquemático da coleta das amostras pode ser observado na Figura 24.

As amostras foram armazenadas em caixas de isopor até a chegada ao laboratório, onde foram analisadas por cromatografia gasosa para determinação das concentrações de CO_2 e CH_4 , utilizando um equipamento Agilent 7890A do mesmo modo que o realizado para o ASS.

Para a realização da calibração do cromatógrafo, foram realizados levantamentos preliminares, a fim de se conhecer previamente a concentração de GEE emitidas através da camada de cobertura.

Figura 24. Ilustração esquemática da coleta de GEE, CO, BTEX e HC no ACG.



A análise de GEE, BTEX e HC foi realizada da mesma forma como descrito para o ASS

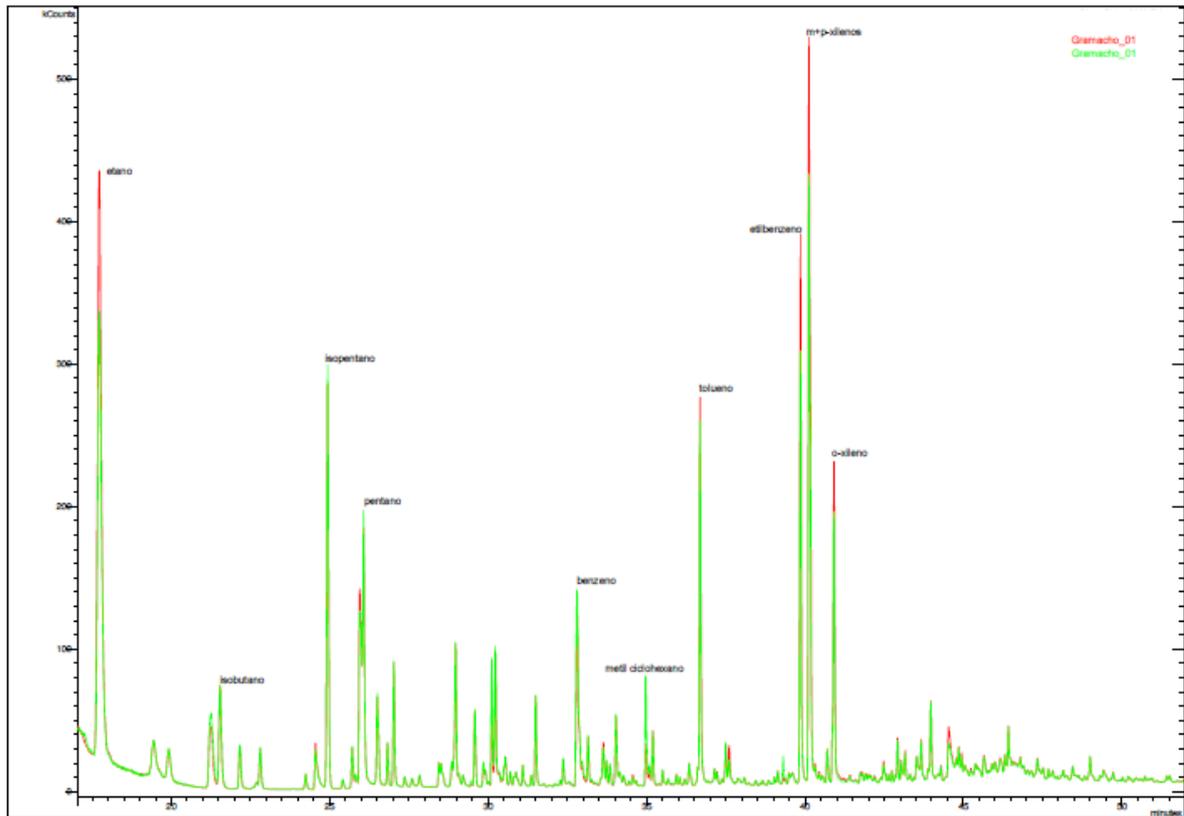
Contudo para os HC o cálculo das concentrações foi realizado utilizando uma mistura padrão de hexano, com um limite de detecção de $22 \mu\text{g L}^{-1}$ de limite de quantificação de $60 \mu\text{g L}^{-1}$ com R2 de 0,9981. Foram obtidos mais de 60 picos no cromatograma, o que revela a presença de muitos compostos pertencentes a variadas funções químicas. Um dos cromatogramas obtidos está demonstrado na Figura 25.

A análise de CO foi realizada utilizando um analisador automático da ThermoScientific modelo 48i baseado na metodologia de espectroscopia de infravermelho. O analisador fica acoplado a um multicalibrador, conectado a um cilindro padrão de CO a 10 ppm, e por isso a calibração é realizada automaticamente. O limite de detecção é de 0,04 ppm e precisão de 0,1 ppm.

Na Figura 26 pode ser observado o resumo dos métodos de amostragem e análise utilizados para o CO, GEE, BTEX e HC no ACG.

Tendo em vista a grande quantidade de informações metodológicas aplicadas no ASS e no ACG, no Quadro 15 pode ser observado um resumo destas informações para cada um dos aterros.

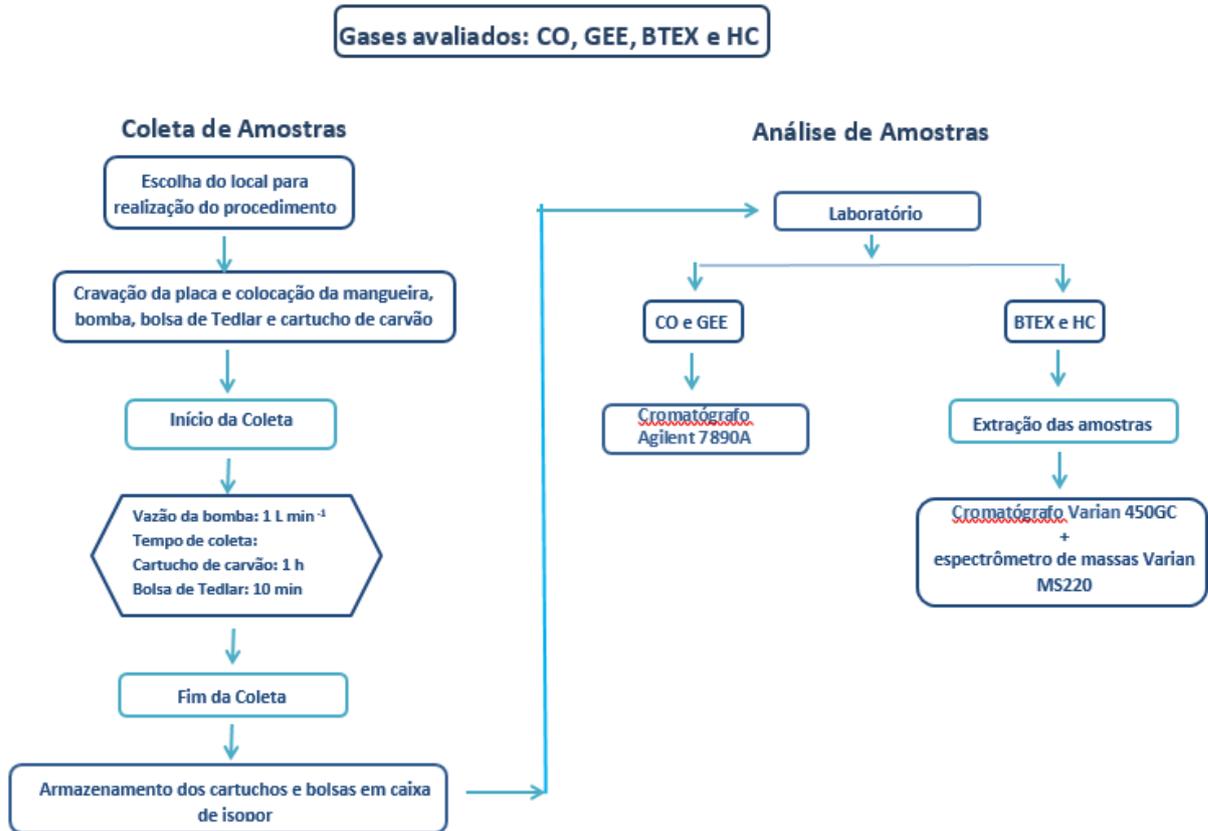
Figura 25. Exemplo do cromatograma obtido para os HC no ACG.



Quadro 15 . Resumo das características metodológicas aplicadas no ASS e no ACG.

Características Metodológicas	ASS	ACG
Gases analisados	CH ₄ , CO ₂ e BTEX	CO, CH ₄ , CO ₂ , N ₂ O, BTEX e HC (C6 a C12)
Pontos amostrados no aterro	Sempre diferentes	Sempre o mesmo
Gases analisados em cada ponto	CH ₄ e CO ₂ em um ponto, BTEX em outro ponto	Todos os gases no mesmo ponto
Número de pontos	21 pontos de CH ₄ e CO ₂ 13 pontos de BTEX	48 amostras coletadas sempre no mesmo ponto
Característica visual da camada de cobertura	Solo compactado. Pontos com e sem fissuras.	Solo misturado com resíduos
Período de amostragem	Julho de 2014 a janeiro de 2015	Janeiro a dezembro de 2011
Coleta das amostras	CH ₄ e CO ₂ – câmara de fluxo metálicas (A: 0,66 m ² , H: 5 cm, V: 33,2 L). BTEX – câmara de fluxo metálica (A: 1 m ² , H: 5 cm, V: 50 L).	CO, CH ₄ , CO ₂ , N ₂ O, BTEX e HC – câmara de fluxo de PVC (V:30 L, D: 40 cm e H: 24 cm).
Armazenamento das amostras	CH ₄ e CO ₂ – seringas BTEX – cartucho de carvão ativado	CO, CH ₄ , CO ₂ , N ₂ O – bolsa de Tedlar BTEX e HC – Cartucho de carvão ativado
Análise por cromatografia	CH ₄ e CO ₂ – Agilet 7890A BTEX – Varian 450GC + espectrômetro de massas Varian MS220.	CO, CH ₄ , CO ₂ , N ₂ O – Agilet 7890A BTEX e HC – Varian 450GC + espectrômetro de massas Varian MS220.

Figura 26. Resumo do método de coleta e análise de amostras de CO, GEE, BTEX e HC no ACG.



Vale destacar que em Silva *et al.* (2016) foi realizada a validação do método de armazenamento de amostras de GEE em seringas e bolsas Tedlar. Já o método de armazenamento de amostras em cartucho de carvão ativado é descrito por NIOSH 1501 (2003).

2.6. Tratamento estatístico dos dados de emissão

Os de emissão do ASS e do ACG foram tratados de maneira a realizar análise estatística descritiva e multivariada.

Para análise descritiva foram considerados os parâmetros de média aritmética, mediana, máximo e mínimo. Para estatística multivariada foi feita análise dos componentes principais, matriz de correlação e dendrograma.

A matriz de correlação demonstra a correlação entre as variáveis e é usada para ter um entendimento prévio dos dados antes de partir para análises mais avançadas.

Através do dendrograma podem ser visualizados os agrupamentos formados entre as variáveis analisadas de forma a avaliar a similaridade entre elas.

Já a análise dos componentes principais consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de menor dimensão denominadas de componentes principais. Nesta técnica há um agrupamento dos indivíduos de acordo com sua variação, ou seja, segundo seu comportamento dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que os define (VARELLA, 2008).

Para realização das análises estatísticas citadas anteriormente foi utilizada a Linguagem R (R Core Team, 2019). Se trata de um ambiente desenvolvido para produção de cálculos estáticos, tais como modelagem linear e não-linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação e agrupamento, além da geração de variados gráficos.

O executável desta ferramenta pode ser obtido na página <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/>. Para facilitar a utilização da ferramenta foi utilizado o software RStudio, integrado ao R, e que pode ser obtido em <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/#download>. O arquivo criado na ferramenta pode ser visualizado no Apêndice I.

Após tratamento estatístico foi criado um arquivo de entrada para o modelo AERMOD. Um exemplo deste arquivo consta no Apêndice II.

2.7. Descrição do modelo de dispersão utilizado: AERMOD

O modelo AERMOD foi criado através da parceria entre a Sociedade Americana de Meteorologia e U.S. EPA, com o intuito de elaborar um modelo que considerasse os conceitos de Camada Limite (U.S. EPA, 2018).

Segundo *Air Dispersion Modelling Guideline for Ontário* (2005) o AERMOD possui as seguintes características:

- Pode ser utilizado para modelar a emissão de contaminantes a partir de muitas fontes continuamente;
- Possibilita taxas de emissão constantes ou variáveis de acordo com o mês, estação, hora do dia e outras opções de período;
- Verifica os efeitos aerodinâmicos de *downwash* devido às proximidades de construções em relação aos pontos de emissão;

- Permite especificação de locais receptores em grid e/ou utilização de coordenadas cartesianas ou polares;
- Utiliza pré-processadores de terreno;
- Utiliza dados horários meteorológicos para contabilizar os efeitos das condições atmosféricas na dispersão do ar poluído na área modelada;
- Produz resultados em concentração, fluxo total de deposição, fluxo de deposição seca e/ou úmida;
- Possui algoritmos que modelam os efeitos de assentamento e deposição seca para partículas grandes e efeitos de precipitação via úmida para gases e partículas;
- Necessidade de dois tipos de arquivos meteorológicos, um contendo parâmetros escalares de superfície e outro contendo parâmetros de perfil vertical;
- Utilização dos dados de elevação de terreno;
- Possui opções na entrada de dados para fontes poluentes;
- Possui a opção Urbana, onde altera os parâmetros de dispersão devido ao efeito de ilha urbana de calor.

Matacchiera *et al.* (2018) utilizaram o AERMOD para avaliação da dispersão de gases de um aterro sanitário no Reino Unido. Assim como foi utilizado por Talaiekhosani *et al.* (2018) em aterro no Irã.

O AERMOD pode analisar a dispersão de poluentes em áreas rurais e urbanas, em terrenos planos ou complexos, usando fontes de pontos, áreas e volumes. O software requer entradas meteorológicas e de terreno, que são obtidas por um pré-processador meteorológico (AERMET) e um pré-processador de terreno (AERMAP) (MATACCHIERA *et al.*, 2018).

O AERMET recebe como dados de entrada as variáveis de superfície e as variáveis de *upperair*. Dentre as variáveis de superfície, o pré-processador possibilita a inclusão de dados relativos à condição/nível 1 de cobertura de nuvem para níveis de 1 a 4, condição do céu, altura da base da nuvem, temperatura do ponto de orvalho, visibilidade horizontal, precipitação, pressão na estação, tempo presente, umidade relativa, pressão ao nível do mar, temperatura do bulbo seco, direção do vento e velocidade do vento. Dentre as variáveis de *upperair* estão o desvio do ponto de orvalho, coeficiente de turbulência vertical, pressão atmosférica, temperatura do ponto de orvalho, temperatura do bulbo seco, direção do vento, velocidade do vento, albedo, razão de Bowen e rugosidade.

O albedo é a fração da radiação solar refletida pela superfície de volta ao espaço, sem que haja absorção. A razão de Bowen diurna, um indicador da umidade da superfície, é a proporção do fluxo de calor sensível para o fluxo de calor latente e é usada para determinar os parâmetros da camada limite planetária para condições convectivas. O comprimento da rugosidade da superfície está relacionado com a altura dos obstáculos ao fluxo do vento e é, em princípio, a altura na qual a velocidade média do vento horizontal é zero.

O guia de utilização do AERMET (U.S. EPA, 2004) especifica os valores de albedo, razão de Bowen e rugosidade a serem utilizados para diferentes usos de solo e estações do ano, tal como apresentado no Quadro 16.

Quadro 16. Valores de albedo, razão de Bowen e rugosidade para uso do solo e estações do ano.

Albedo				
Uso do solo	Estações do ano			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Água	0,12	0,10	0,14	0,20
Floresta decidual	0,12	0,12	0,12	0,50
Floresta de coníferas	0,12	0,12	0,12	0,35
Pantano	0,12	0,14	0,16	0,30
Área de cultivo	0,14	0,20	0,18	0,60
Pasto	0,18	0,18	0,20	0,60
Urbano	0,14	0,16	0,18	0,35
Deserto	0,30	0,28	0,28	0,45
Razão de Bowen – Clima úmido				
Uso do solo	Estações do ano			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Água	0,1	0,1	0,1	0,3
Floresta decidual	0,3	0,2	0,4	0,5
Floresta de coníferas	0,3	0,2	0,3	0,3
Pantano	0,1	0,1	0,1	0,5
Área de cultivo	0,2	0,3	0,4	0,5
Pasto	0,3	0,4	0,5	0,5
Urbano	0,5	1,0	1,0	0,5
Deserto	1,0	1,5	2,0	2,0
Rugosidade				
Uso do solo	Estações do ano			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Água	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Floresta decidual	1,00	1,30	0,80	0,50
Floresta de coníferas	1,30	1,30	1,30	1,30
Pantano	0,20	0,20	0,20	0,05
Área de cultivo	0,03	0,20	0,05	0,01
Pasto	0,05	0,10	0,01	0,001
Urbano	1,00	1,00	1,00	1,00
Deserto	0,30	0,30	0,30	0,15

Fonte: Adaptado de U.S. EPA (2004).

Os valores de albedo podem variar entre 0,1 para florestas decíduas espessas a 0,90 para neve fresca. Embora a variação diurna da razão de Bowen possa ser significativa, atinge um valor razoavelmente constante durante o dia. Os valores do meio-dia da razão de Bowen variam de 0,1 sobre a água a 10,0 sobre o deserto. Os valores para o comprimento da rugosidade da superfície variam de menos de 0,001 m em uma superfície de água calma a 1 m ou mais em uma floresta ou área urbana.

O uso do solo ao redor do ASS pode ser classificado exclusivamente com pasto. No ACG há parte ocupada pelo oceano (Baía de Guanabara), parte por manguezal e parte por habitações. Sendo assim foi calculada uma média dos valores apresentados no Quadro 13, considerando os tipos de uso do solo de água, pântano e urbano, para determinação do albedo, razão de Bowen e rugosidade para o ACG.

Outros dados meteorológicos necessários para alimentar o AERMET podem ser obtidos a partir de estações meteorológicas e são processados para obter arquivos de saída compatíveis com o AERMOD, sendo assim os resultados estimados pelo AERMET são disponibilizados através de bloco de notas, gerando dois arquivos, onde são demonstrados dados de superfície e dados estatísticos, como por exemplo, o desvio padrão dos dados de superfície.

O AERMAP requer um Modelo Digital de Elevação (MDE) e as coordenadas da fonte dos receptores e por isso pode ser alimentado por arquivo digital topográfico. Os dados são trabalhados para criar grades representativas dos receptores e a altura crítica do terreno, considerando a influência da topografia nos processos de dispersão. Através do AERMAP é possível verificar se a pluma de poluentes vai colidir com um determinado ponto do terreno ou se vai escoar conforme a movimentação do vento.

O AERMAP processa os dados de entrada e fornece os valores da concentração de poluentes no local dos receptores (MATACCHIERA *et al.*, 2018) e tal como o AERMET, gera os resultados em formato legível em bloco de notas.

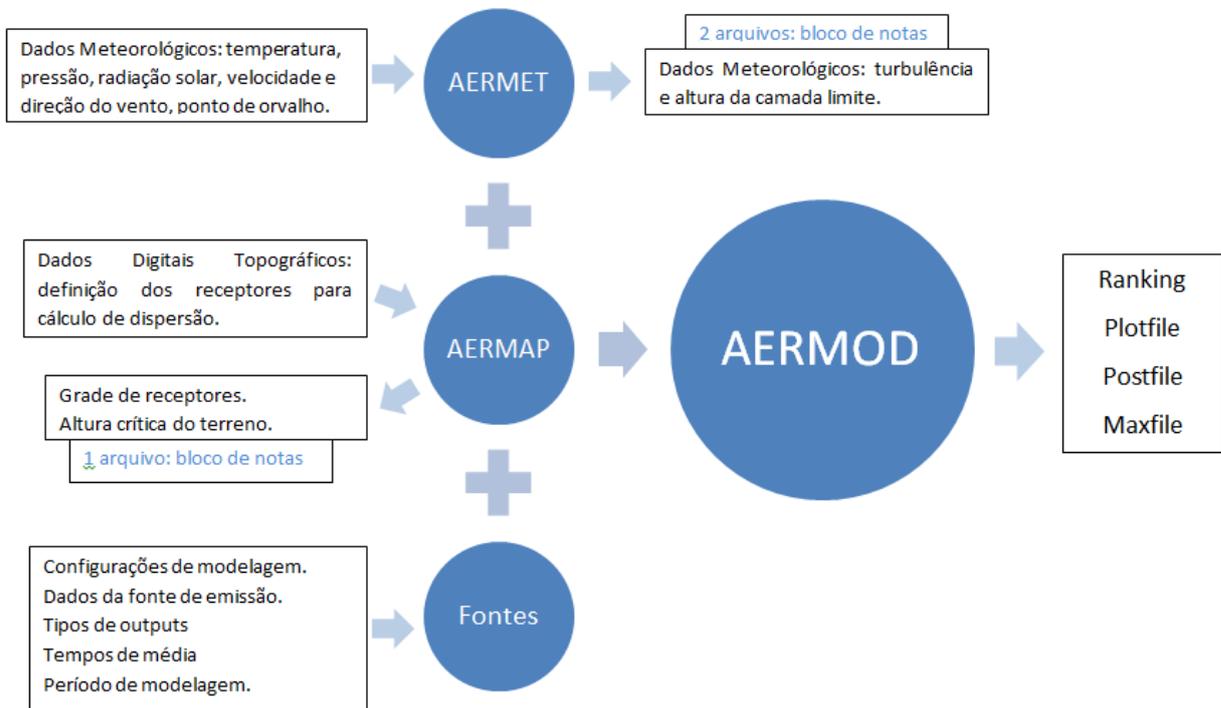
Após a geração de arquivos com os pré-processadores, o próprio AERMOD deve ser alimentado com os seguintes dados:

- Dados da fonte de emissão: características da área, período, taxa de emissão dos poluentes. Os dados de entrada irão variar de acordo com o empreendimento avaliado.
- Configuração de modelagem: determina a forma como será realizado o cálculo da dispersão. Pode ser padrão, cálculo da deposição úmida ou deposição seca, por exemplo.

- Tipo de output: pode ser dado de cinco formas. *Ranking*, que demonstra de forma crescente as maiores concentrações em todo período de modelagem. *Plotfile* demonstra a pluma de dispersão. *Postfile* calcula concentração em pontos específicos em todo o período determinado. Finalmente a *Maxfile*, que determina se em algum momento houve alguma violação de algum critério, com por exemplo, valor de concentração determinado em lei. Este valor deve ser especificado, também como dado de entrada.
- Tempo de média: caso o poluente seja regulamentado através de concentrações medias durante um período.

A Figura 27 retrata, resumidamente, as descrições do AERMOD e seus pré-processadores AERMET e AERMAP.

Figura 27. Descrição do modelo AERMOD.



Vale ressaltar que para a modelagem do ASS e do ACG foi determinado como um dos dados que a fonte de emissão é representada por área, ainda que a coleta das amostras tenha sido realizada em apenas alguns pontos da camada de cobertura destes aterros, tal como foi descrito no item 3.5. Sendo assim, considerou-se que as emissões pontuais se estendiam para toda a área do aterro. Por tanto, foram realizadas modelagens considerando as taxas de emissão máxima, média e

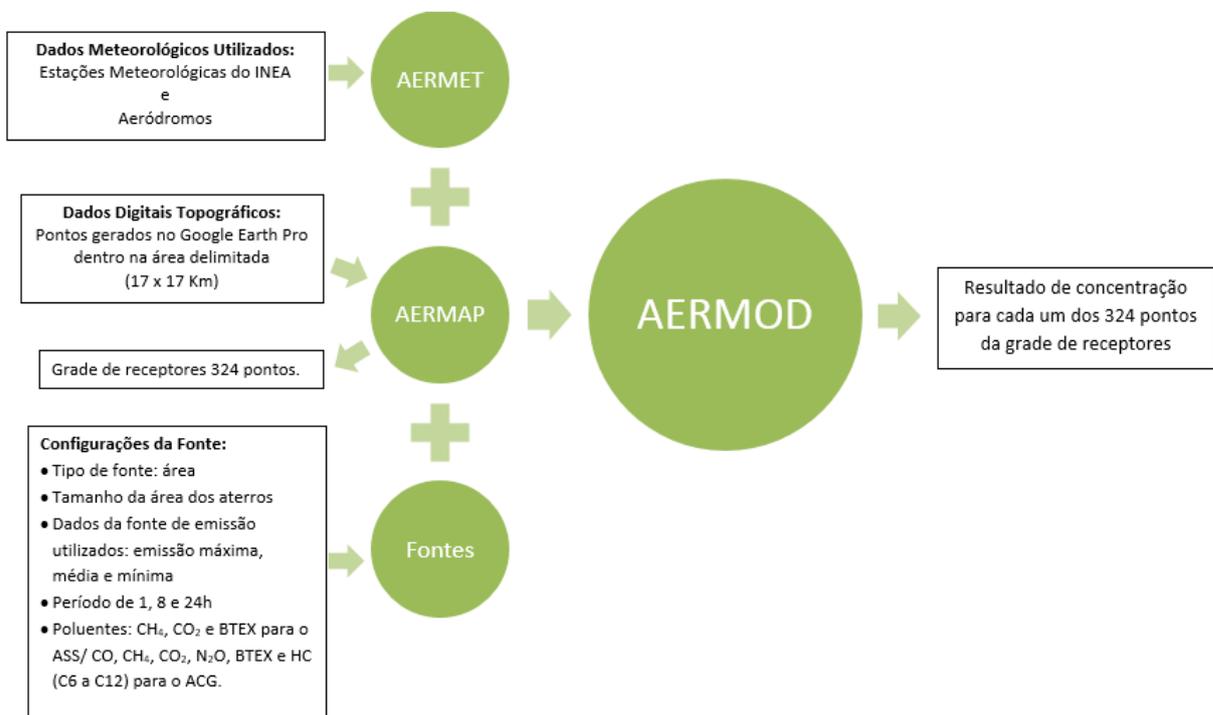
mínima de todos os poluentes. Estas emissões foram modeladas para os períodos de 1, 8 e 24h para todos os poluentes.

Com relação a grade de pontos receptores, foram determinados 324 pontos em cada um dos aterros. Sendo assim, o modelo matemático apresentou como dado de saída as concentrações obtidas em cada um dos receptores determinados, para cada uma das condições de período estipuladas.

Um exemplo do arquivo com os dados de saída resultantes da modelagem matemática pode ser observado no Apêndice IV.

Na Figura 28 pode ser observado um fluxograma com dados de entrada utilizados para modelagem da dispersão de pluma no ASS e no ACG.

Figura 28. Fluxograma com dados de entrada para modelagem de dispersão de pluma no ASS e no ACG



Outros componentes não regulamentares deste sistema incluem: AERSCREEN, uma versão de triagem do AERMOD; AERSURFACE, um pré-processador de características de superfície, e BPIP PRIM, um programa de dimensões de edifícios múltiplos que incorpora os procedimentos técnicos GEP para aplicações PRIME.

O modelo, todas as suas descrições e instruções de uso podem ser encontradas no site da U.S.EPA: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and->

[recommended-models](#), página do *Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM)*. O modelo sofre diversas atualizações e por isso é importante acessar a página constantemente para verificar a última versão do modelo. Nesta mesma página é disponibilizado, ainda, o Documento de Formulação e Avaliação do Modelo, em formato PDF, onde são demonstradas todas as formas de cálculo utilizadas do modelo e seus pré-processadores.

A versão do AERMOD utilizada neste estudo foi a de número 8.9.0, criada pela empresa Lakes Environmental Software.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos para o ASS e ACG. Estes foram subdivididos em dados meteorológicos, topográficos, de emissão e de dispersão. Além disso, foi feita uma avaliação comparativa dos resultados de emissão obtidos para os dois aterros, entre si e demais pesquisas.

3.1. Aterro Sanitário de Seropédica

3.1.1. Dados meteorológicos

Durante a coleta das amostras foram medidos parâmetros meteorológicos utilizando o medidor portátil termo-higro-anemometro-luxímetro digital. Os parâmetros medidos foram temperatura do ar, umidade relativa do ar e intensidade do vento. Os parâmetros foram avaliados de maneira horária, durante o tempo de permanência no ASS.

A coleta de janeiro de 2015 foi caracterizada por elevadas temperaturas e umidade relativa baixa. A menor temperatura medida no aterro foi de 23,8°C, registrada durante a coleta do mês de julho de 2014 e a maior em janeiro de 2015, com 47,5°C. O maior valor de umidade relativa foi observado em dia de chuva (novembro/2014), com 84%, e o menor valor em dia de muito vento (outubro/2014), com 21%. Detalhes podem ser observados no Quadro 17.

Quadro 17. Resumo das características meteorológicas do aterro nos dias de coleta de amostras com o medidor portátil.

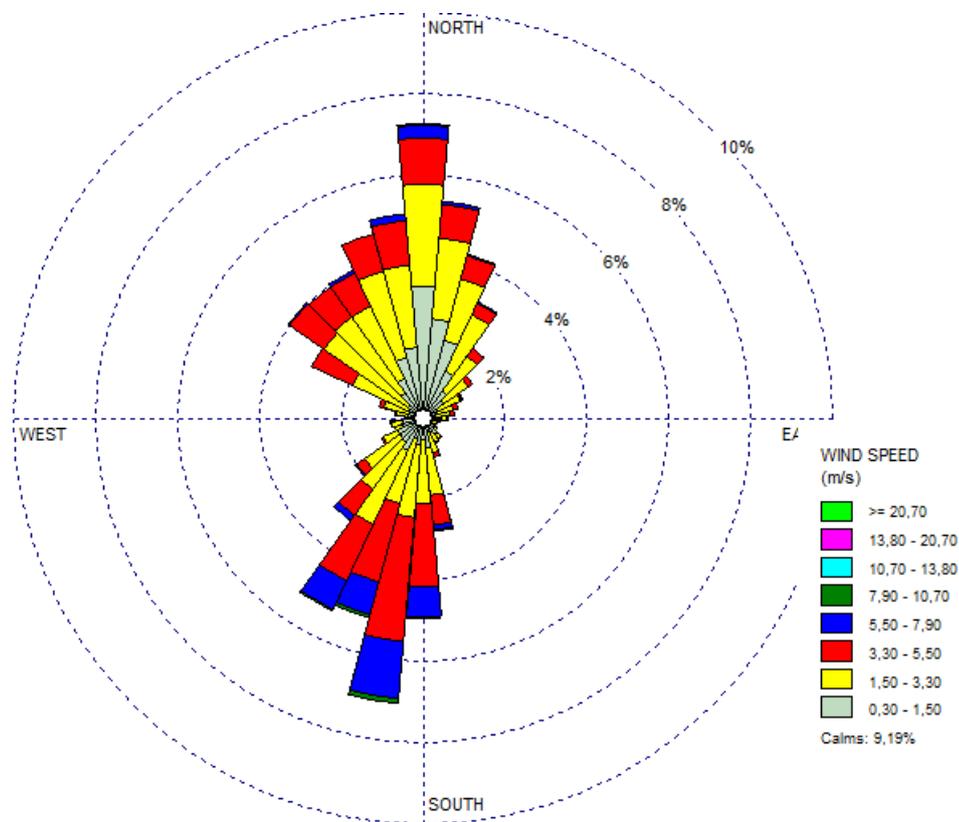
Data de Coleta	Amostras Coletadas na Camada de Cobertura		Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Intensidade do vento (m/s)
	BTEX	GEE			
Jul/2014	P1	P1 a 4	23,8 – 27,1	52 - 61	2,8 – 3,3
Ago/2014	P2	P5 e 6	26,3 – 37,3	24 - 43	2,6 – 3,3
Set/2014	P3 e 4	P7 a 9	28,5 – 32,1	56 - 64	1,6 – 1,8
Out/2014	P5 e 6	P10 a 12	27,9 – 40,8	21 - 45	4 – 6,9
Nov/2014	P7 a 10	P13 a 16	27,5 – 29,4	75 - 84	0 – 5,7
Jan/2015	P11 a 13	P17 a 21	31,6 – 47,5	25 - 57	2,4 – 4,1

Foi realizada ainda, a caracterização da cobertura do céu através de observações. Os dias de coleta de julho, agosto e setembro de 2014 correram em dias de sol entre nuvens, sendo observada a ocorrência de chuvas nos dias anteriores a estas coletas. A amostra do mês de novembro de 2014 foi a única em que as coletas foram realizadas com chuva, umidade relativa elevada, temperatura amena e ausência de ventos, em alguns momentos do dia.

Vale destacar que altas umidades relativas do ar influenciam na umidade do solo da camada de cobertura, afetando a quantificação da taxa de emissão do aterro.

Foi observado no momento da coleta das amostras que, em geral, a região é caracterizada por fortes e constantes rajadas de vento e que estas são ainda mais fortes no período da tarde, fato que pôde ser confirmado ao analisar os dados de direção e intensidade dos ventos (Rosa dos Ventos) ocorridos na região no período de maio de 2014 a abril de 2015 que foram obtidos de forma diária e horária na Estação Meteorológica A601. A média de intensidade de vento anual observada ficou entorno de $2,3 \text{ m s}^{-1}$ e calmarias de 9,2%, com predominância para as direções Norte, Sul e Sudoeste, apesar da ocorrência de ventos em todas as direções, tal como apresentado na Figura 29.

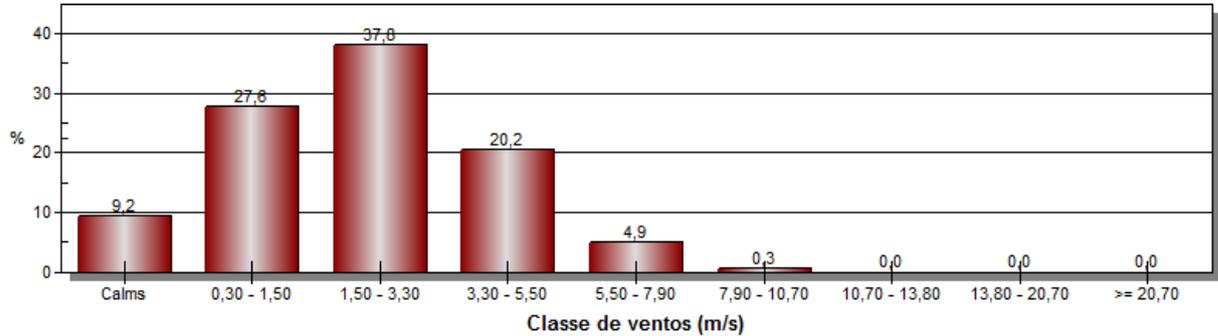
Figura 29. Rosa dos Ventos – Estação Meteorológica A601 – maio de 2014 a abril de 2015.



A Figura 30 demonstra a distribuição das classes de ventos na região. A fim classificar os ventos da região foi utilizada a Escala de Beaufort (Marinha do Brasil, 2018). Observa-se que a maior parte das ocorrências é de brisa leve ($1,5$ a $3,3 \text{ m s}^{-1}$), com 37,8% das ocorrências, seguido

por aragem ($0,3$ a $1,5$ m s^{-1}), com $27,6\%$ e brisa fraca ($3,3$ a $5,5$ m s^{-1}), com $20,2\%$ da ocorrência de ventos. A classificação mais elevada para o período observado foi de brisa forte.

Figura 30. Distribuição das classe de ventos para o ASS.



Os dados meteorológicos obtidos no site do INMET para a temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade do vento e da rajada de vento, com seus valores mínimos, médios e máximos observados no Quadro 18. Vale destacar que este resumo de parâmetros meteorológicos é referente a dados diários e horários do período de maio de 2014 a abril de 2015 obtidos base de dados da Estação Meteorológica A601.

Quadro 18. Resumo dos parâmetros meteorológicos da Estação A601.

Parâmetro meteorológico	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	11,3	24	40,3
Umidade relativa (%)	14	71,8	93
Pressão atmosférica (hPa)	997	1011,5	1025,6
Temp. ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$)	3,4	18	25,1
Velocidade do vento (m s^{-1})	0	2,3	10
Velocidade da rajada (m s^{-1})	0	4,7	17,7

Os dados observados do INMET apresentaram uma temperatura mínima de $11,3^{\circ}\text{C}$ e uma temperatura máxima de $40,3^{\circ}\text{C}$. A umidade do ar variou entre 14 e 93% e a velocidade do vento entre 0 e 10 m s^{-1} .

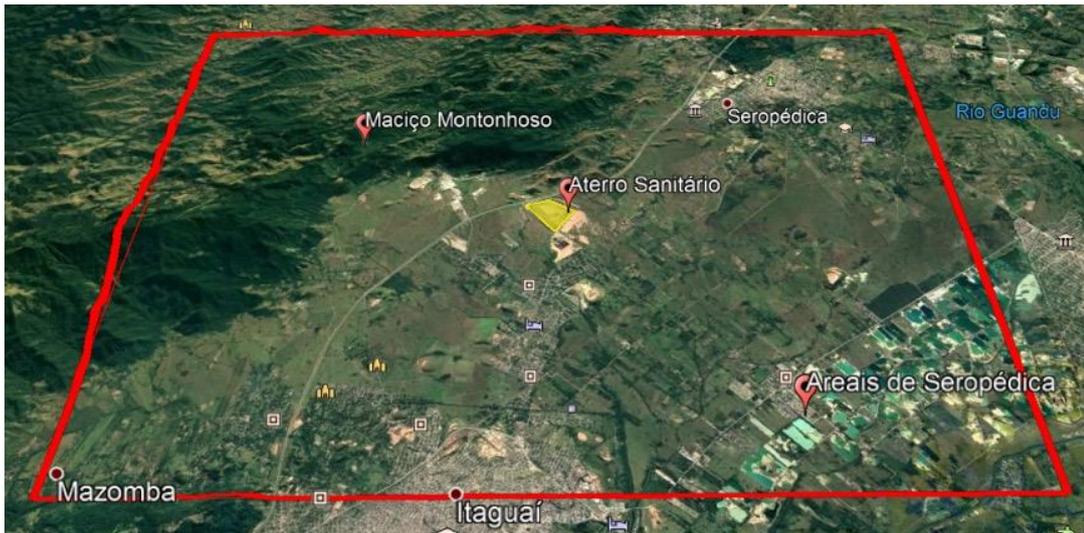
Para os dados obtidos em campo foi verificada uma temperatura mínima de $23,8^{\circ}\text{C}$ e uma máxima de $47,5^{\circ}\text{C}$. A umidade do ar variou entre 21 e 84% e a velocidade do vento entre 0 e $6,9$ m s^{-1} para dados de campo.

Observando os dados meteorológicos apresentados, verifica-se a predominância de temperatura e umidade altas e constância na ocorrência de ventos, principalmente nas direções Norte, Sul e Sudoeste.

3.1.2. Dados topográficos

Para obtenção de dados topográficos da região ao redor do ASS, foi delimitada uma área de 289 km², no intuito de abranger os territórios urbanos próximos ao aterro, ou seja, parte da cidade de Seropédica e de Itaguaí. Além disso, foram considerados os areais de Seropédica e o maciço montanhoso situado próximo à face norte do aterro. A área delimitada pode ser visualizada na Figura 31.

Figura 31. Área delimitada ao redor do ASS para busca de dados topográficos.



A partir desta área foram gerados, automaticamente, 650 pontos, como espaçamento mínimo de 500 metros entre eles (Figura 32).

Figura 32. Mapa dos pontos de dados topográficos levantados ao redor do ASS.



Foi gerada uma planilha com dados de coordenadas (UTM) e altimetria, tal como exemplo do Quadro 19.

Quadro 19. Coordenadas e altimetria de pontos da área próxima ao ASS.

Pontos	Coordenadas UTM (m)		Altimetria (m)
	Leste	Norte	
1	619.978,066	7.481.708,772	554
2	626.150,444	7.472.649,151	29
3	632.638,779	7.481.229,965	29
4	630.319,640	7.477.135,737	10
5	629.177,809	7.471.730,592	3

A altimetria ao redor do ASS variou entre 3 e 700 m. Isto se deve ao fato do aterro ser cercado em todas as direções por áreas planas que variam a altimetria entre 3 e 15 m, com exceção das direções Norte e Nordeste, onde está situado um maciço montanhoso de altimetria entre 40 e 700 m.

A ocupação ao redor do ASS se caracteriza na sua grande maioria por áreas de pasto, contudo a Sudoeste do ASS encontra-se um aglomerado populacional chamado de Chaperó, este faz divisa com o aterro. Os centros urbanos estão a cerca de 8 km de distância (Itaguaí e Seropédica). Sendo assim, a região em que o ASS está localizado foi classificada com rural.

3.1.3. Dados de emissão

Os dados de emissão para o ASS foram levantados por Borba *et al.* (2017 e 2018), Borba (2015). Os estudos avaliaram a emissão de GEE e BTEX na camada de cobertura intermediária do ASS. As amostras foram coletadas entre os meses de julho de 2014 e janeiro de 2015.

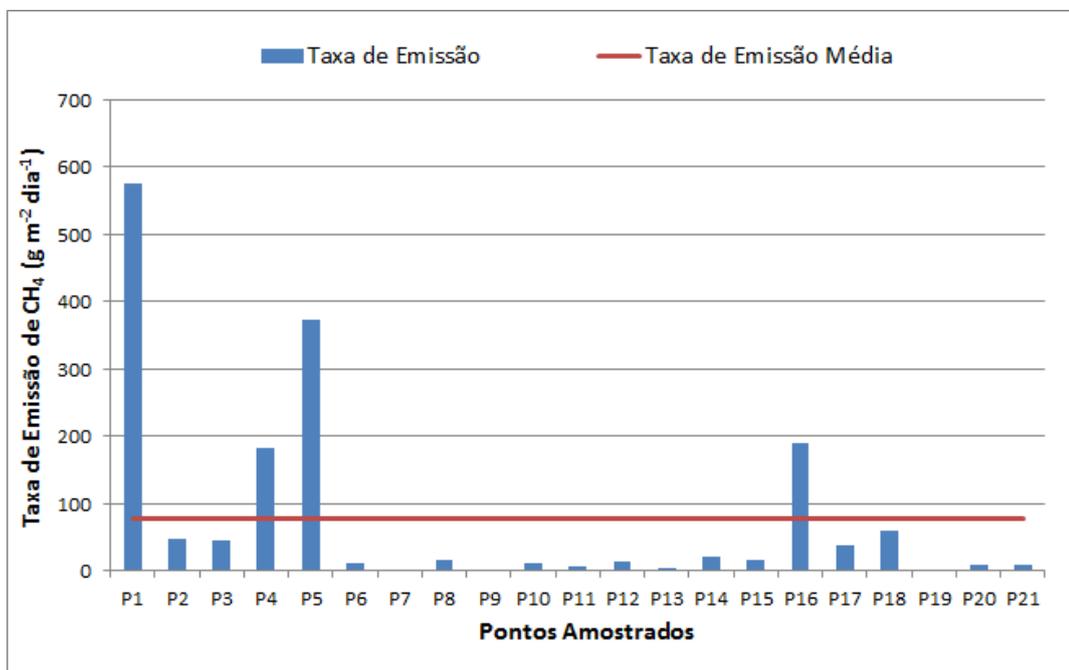
Os resultados das emissões dos GEE pela camada de cobertura são apresentados nas Figuras 33 e 34 e no Quadro 20, além das taxas de emissão máxima, mínima e média, horário das coletas e tamanho das fissuras da camada de cobertura.

Os pontos P1, P4, P5 e P16 apresentaram taxas de emissão acima da média de emissão e os pontos P2, P3, P6 a P15 e P17 a P21 (17 pontos) apresentaram taxas de emissão abaixo da média, que foram de 77,6 g m⁻² dia⁻¹ para CH₄ e 44,7 g m⁻² dia⁻¹ e CO₂. É importante ressaltar que aqueles apresentavam fissuras no momento em que a coleta das amostras foi realizada.

As taxas mínima e máxima de CH₄ foram de 0,1 g m⁻² dia⁻¹ (ponto P9) e 575,6 g m⁻² dia⁻¹ (ponto P1), respectivamente.

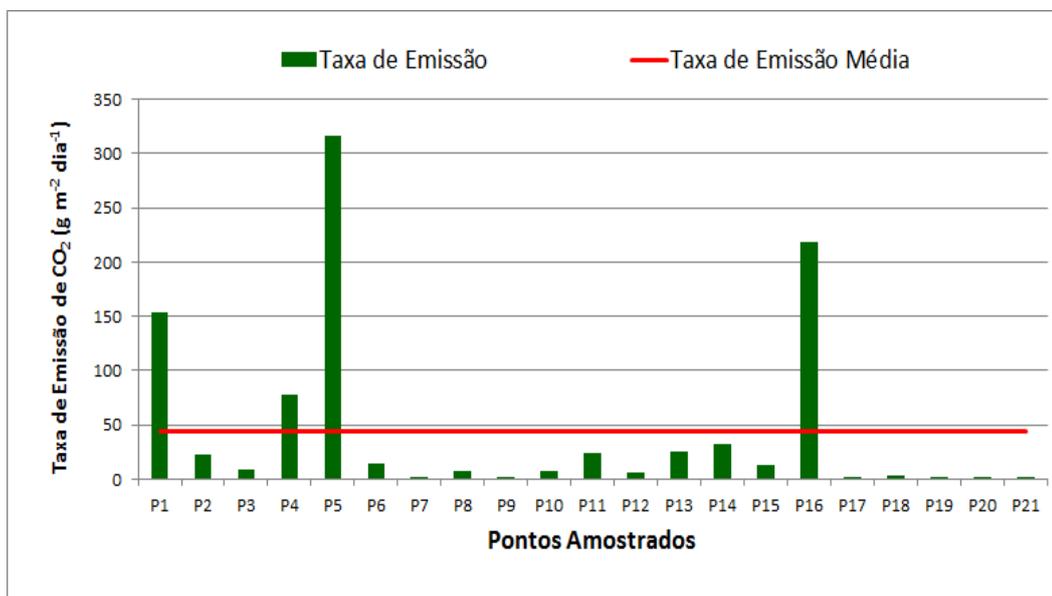
O ponto P9 não apresentava fissuras no momento da coleta das amostras e o ponto P1 foi caracterizado por possuir uma fissura grande. A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima de emissão de CH_4 , para todos os pontos amostrados foi de $575,5 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Figura 33. Taxas de emissão de metano em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ do ASS.



Fonte: Borba (2015).

Figura 34. Taxas de emissão de dióxido de carbono em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ do ASS.



Fonte: Borba (2015).

Quadro 20. Resultados de emissão de GEE na camada de cobertura intermediária do ASS.

Data de Coleta	Horários de Coleta	Pontos	Existência de fissuras no momento da coleta	Taxa de Emissão de CH ₄ (g m ⁻² dia ⁻¹)	Taxa de Emissão de CO ₂ (g m ⁻² dia ⁻¹)
Jul/2014	09:30	P1	Sim (Grande)*	574,6	153,1
Jul/2014	10:00	P2	Não	48,5	22,7
Jul/2014	11:30	P3	Não	45,4	9,3
Jul/2014	12:00	P4	Sim (Pequena)*	181,4	78,1
Ago/2014	11:30	P5	Sim (Média)*	373,1	316,1
Ago/2014	12:30	P6	Não	11,0	15,0
Set/2014	09:30	P7	Não	0,9	0,3
Set/2014	10:00	P8	Não	16,0	7,7
Set/2014	12:00	P9	Não	0,1	0,3
Out/2014	09:00	P10	Não	12,3	7,0
Out/2014	10:30	P11	Não	7,6	24,7
Out/2014	12:30	P12	Não	14,7	6,5
Nov/2014	10:30	P13	Não	3,6	25,7
Nov/2014	11:00	P14	Não	21,1	31,9
Nov/2014	11:30	P15	Não	15,2	12,9
Nov/2014	12:00	P16	Sim (Pequena)*	189,2	218,5
Jan/2015	10:00	P17	Não	38,0	1,9
Jan/2015	10:30	P18	Não	59,5	3,9
Jan/2015	10:30	P19	Não	0,7	0,1
Jan/2015	11:30	P20	Não	8,3	0,5
Jan/2015	11:30	P21	Não	9,3	2,0
Máximo				575,6	316,1
Mínimo				0,1	0,1
Média				77,6	44,7

Fonte: Adaptado de Borba (2015).

Legenda: *Tamanho das fissuras

As taxas mínima e máxima de CO₂ foram de 0,1 g m⁻² dia⁻¹ (ponto P19) e 316,1 g m⁻² dia⁻¹ (ponto P5), respectivamente.

O ponto P19 não apresentava fissuras no momento da coleta das amostras e o ponto P5 foi caracterizado por possuir uma fissura média. A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima de emissão de CO₂ foi de 316 g m⁻² dia⁻¹.

Sendo assim, vale distinguir as médias dos pontos com e sem fissura. Para tanto a média dos pontos P1, P4, P5 e P16, que continham fissuras no momento da coleta, é de 329,6 g m⁻² dia⁻¹ para o CH₄ e de 191,5 g m⁻² dia⁻¹ para o CO₂. E a média dos demais pontos, sem fissuras, é de 18,4 g m⁻² dia⁻¹ para o CH₄ e de 10,1 g m⁻² dia⁻¹ para o CO₂.

Além da questão relacionada as fissuras, as emissões foram avaliadas em relação aos parâmetros meteorológicos medidos em campo. Ao analisar os resultados obtidos para os pontos que não continham fissuras no momento da coleta, verificou-se que a coleta de julho de 2014 foi

realizada em um dia em que se observou a menor temperatura do ar (23,8 a 27,1°C) e obteve-se a maior média de emissão de CH₄ para os pontos sem fissura (47 g m⁻² dia⁻¹). Neste dia também foi encontrada a maior taxa de emissão de CH₄ dentre os pontos com fissura (574,6 g m⁻² dia⁻¹).

A maior média de emissão de CO₂ (23,5 g m⁻² dia⁻¹) nos pontos sem fissura foi observada em novembro de 2014, dia em que ocorreram pancadas de chuva no momento da coleta e a umidade do ar foi a maior observada em campo (75 a 84%).

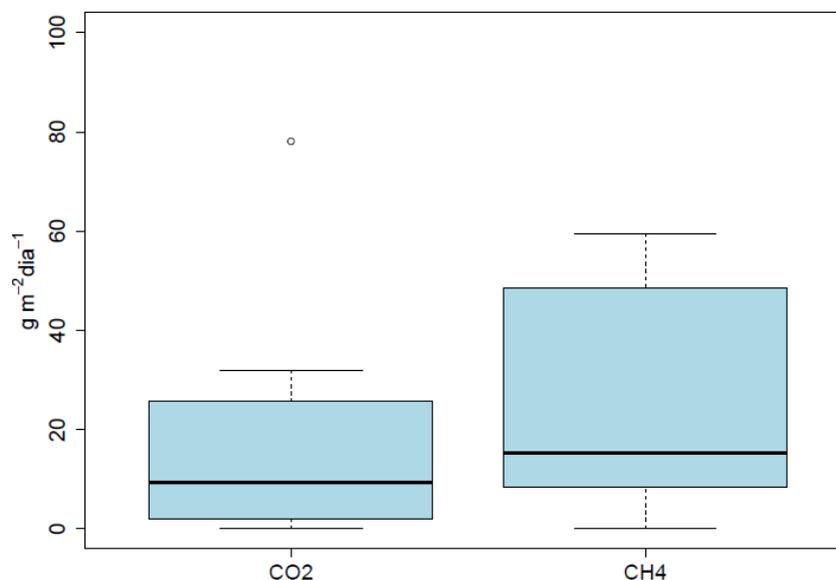
A menor média de emissão de CH₄ dos pontos que não continham fissuras (5,7 g m⁻² dia⁻¹) foi observada em setembro de 2014. Neste dia as temperaturas variaram entre 28,5 e 32°C e a umidade do ar variou entre 56 e 64%. Para o CO₂ a menor média (1,7 g m⁻² dia⁻¹) foi observada no dia que apresentou as maiores temperaturas (31,6 a 47,5°C).

Ao analisar os dados citados, não foi possível estabelecer uma relação entre os parâmetros meteorológicos medidos em campo e as emissões de CH₄ e CO₂.

Considerando as taxas totais médias de emissão de CH₄ (77,6 g m⁻² dia⁻¹) e CO₂ (44,7 g m⁻² dia⁻¹) foi calculada a quantidade emitida em massa, referente a área final projetada para o ASS, de 1.005.331 m². Verificou-se que a emissão de CH₄ é de 78.013.686 g por dia e de 44.938.296 g por dia de CO₂.

A Figura 35 apresenta o boxplot com a variação da emissão de GEE na camada de cobertura intermediária do ASS. É possível observar que CH₄ apresentou a maior taxa de emissão, assim como a maior variação.

Figura 35. Resumo das emissões de GEE do ASS.



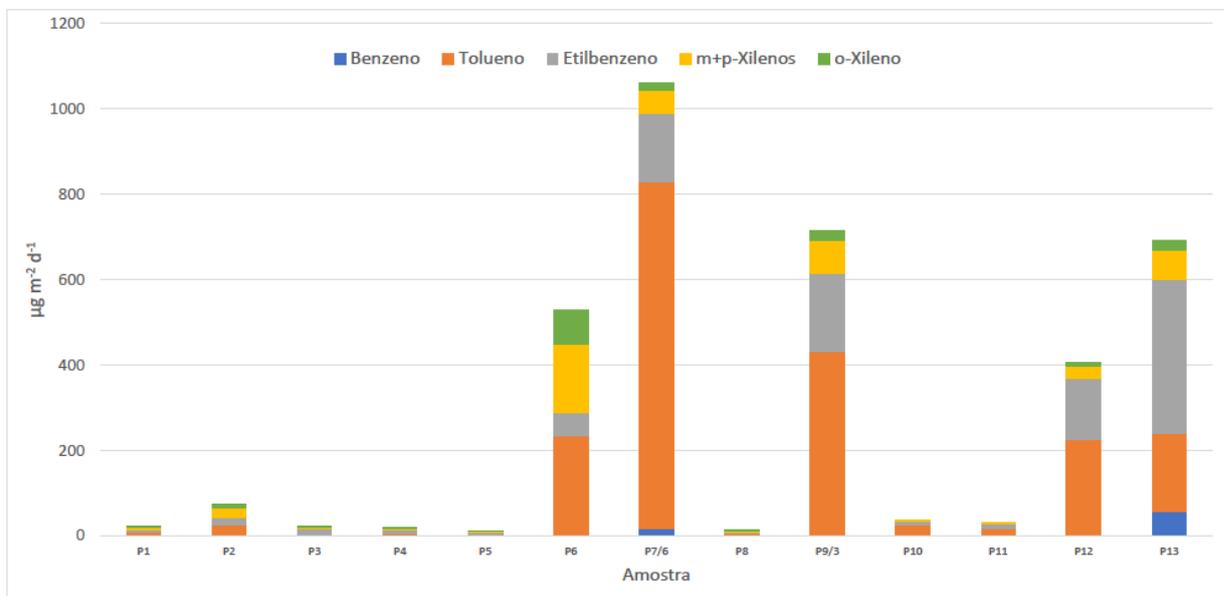
Verifica-se que as emissões de CO₂ e CH₄ estão distribuídas acima da mediana, que apresentou valores de 9,3 g m⁻² dia⁻¹ para o CO₂ e 15,2 g m⁻² dia⁻¹ para o CH₄. A análise do gráfico box plot evidencia a diferença entre os resultados de emissão dos pontos que continham e não continham fissuras na camada de cobertura no momento da coleta, uma vez que ressalta a grande variação dos resultados obtidos para CO₂ e CH₄.

Em Borba *et al.* (2017) e Borba (2015) foram quantificadas as emissões de BTEX na camada de cobertura intermediária do ASS. Na Figura 36 e Quadro 22 são apresentadas as taxas de emissão de BTEX encontradas no ASS.

Verificam-se taxas de emissões médias de 11,7, 492,2, 153,7, 67,2, 21,7 µg m⁻² dia⁻¹, respectivamente para benzeno, tolueno, etilbenzeno, m+p-xilenos e o-xileno.

A avaliação referente às estações do ano pode ser observada no Quadro 22.

Figura 36. Taxas de emissão de BTEX em µg m⁻² dia⁻¹ do ASS.



Fonte: Borba (2015).

Quadro 21. Resultados de emissão de BTEX na camada de cobertura intermediária do ASS.

Pontos	Data e Horário da Coleta	Existência de fissuras no momento da coleta	Benzeno (µg m ⁻² dia ⁻¹)	Tolueno (µg m ⁻² dia ⁻¹)	Etilbenzeno (µg m ⁻² dia ⁻¹)	m+p – Xilenos (µg m ⁻² dia ⁻¹)	o – Xileno (µg m ⁻² dia ⁻¹)
P1	Jul/2014 09:30	Não	< 8 x 10 ⁻⁴ *	8,8	6,7	5,2	1,1
P2	Ago/2014 09:30	Não	< 8 x 10 ⁻⁴ *	25,9	16,5	23,8	6,8
P3	Set/2014 10:30	Não	< 8 x 10 ⁻⁴ *	3,0	13,3	4,4	2,4

Pontos	Data e Horário da Coleta	Existência de fissuras no momento da coleta	Benzeno ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	Tolueno ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	Etilbenzeno ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	m+p – Xilenos ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	o – Xileno ($\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
P4	Set/2014 11:30	Não	< 8 x 10 ⁻⁴ *	5,0	8,3	3,4	2,3
P5	Out/2014 09:00	Não	< 8 x 10 ⁻⁴ *	2,2	6,0	2,9	1,0
P6*	Out/2014 10:00	Sim (Pequena)*	< 8 x 10 ⁻⁴ *	235,6	54,5	158,0	79,8
P7*	Nov/2014 11:00	Sim (Grande)*	107,0	4864,1	964,3	325,5	105,4
P8	Nov/2014 11:30	Não	< 8 x 10 ⁻⁴ *	3,9	4,7	3,6	1,6
P9*	Nov/2014 12:00	Sim (Grande)*	< 8 x 10 ⁻⁴ *	1291,3	555,7	229,3	71,3
P10	Nov/2014 12:30	Não	< 8 x 10 ⁻⁴ *	25,4	8,9	3,0	< 8 x 10 ⁻⁴ *
P11	Jan/2015 10:30	Não	< 8 x 10 ⁻⁴ *	17,6	10,6	3,3	< 8 x 10 ⁻⁴ *
P12*	Jan/2015 11:30	Sim (Pequena)*	< 8 x 10 ⁻⁴ *	226,5	141,6	29,8	8,8
P13*	Jan/2015 12:00	Sim (Média)*	56,9	181,7	361,5	68,4	23,5
Mínimo			< 8 x 10 ⁻⁴ *	2,2	4,7	2,9	< 8 x 10 ⁻⁴ *
Máximo			107	4864,1	964,3	325,5	105,4
Média			12,6	530,1	165,6	66,2	27,6

Legenda: *< = Valor calculado com a concentração referente ao Limite de Quantificação.

*Pontos com fissura na camada de cobertura no momento da coleta.

Ao separar os pontos com e sem fissuras observa-se uma grande diferença nas médias obtidas. A média de emissão dos pontos P6, P7, P9 P12 e P13 foram de 32,87 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para o benzeno, 1360 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para o tolueno, 415,5 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para o etilbenzeno, 162,2 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para o m+p-xilenos e 57,8 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para o o-xileno.

Para os demais pontos, que não continham fissuras, as médias de benzeno, tolueno, etilbenzeno, m+p-xilenos e o-xileno foram 0,0, 11,5, 9,4, 6,2 e 1,9 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente.

O ponto P2 apresentou as maiores taxas de emissão de tolueno (25,9 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), etilbenzeno (16,5 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), m,p-xilenos (23,8 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e o-xileno (6,8 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) ao avaliar apenas os pontos que não continham fissuras no momento da coleta. Este dia foi caracterizado com os menores resultados de umidade do ar (24 a 43%) observados em campo.

As maiores taxas de emissão de BTEX foram observadas para o ponto (P7) que continha a maior fissura no momento da coleta. Contudo, vale ressaltar que neste dia ocorreram pancadas de chuva no momento da coleta e a umidade média em campo foi maior registrada (84%).

Neste mesmo dia foram registradas as menores taxas de emissão de etilbenzeno (4,7 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e o-xileno (abaixo do LD) para os pontos sem fissuras. A menor taxa de emissão de tolueno

e m,p-xilenos foi obtida em um dia em que a temperatura do ar variou entre 27,9 e 40,8°C e a umidade do ar variou entre 21 e 45%.

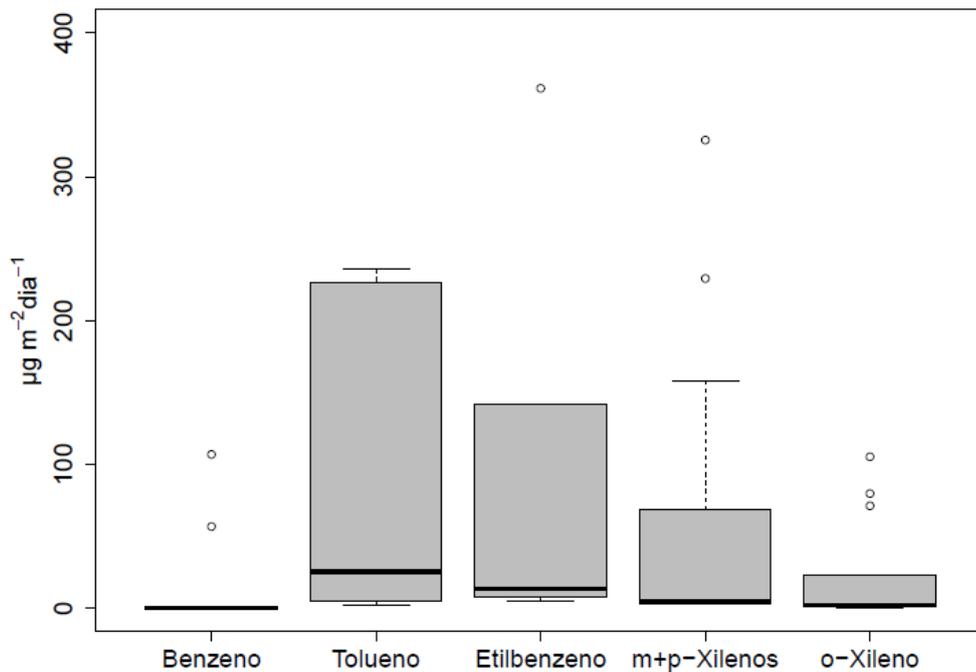
Não foi possível verificar uma relação direta dos parâmetros meteorológicos medidos em campo com os resultados de emissão obtidos.

Considerando as taxas de emissão médias de BTEX foi calculada a quantidade emitida em massa, referente a área final projetada para o ASS, de 1.005.331 m². Verificou-se emissões de 12,7 g por dia de benzeno, 533 g por dia de tolueno, 166,5 g por dia de etilbenzeno, 94,3g por dia de xilenos.

A Figura 37 apresenta o boxplot com a variação da emissão de BTEX na camada de cobertura intermediária do aterro. É possível observar que o tolueno e o etilbenzeno apresentaram as maiores taxas de emissão, assim como a maior variação.

O benzeno não apresentou valores de mediana, uma vez que onze dos treze pontos analisados apresentaram emissões menores que $8 \times 10^{-4} \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, este não apresentou valores de mediana, 1º e 3º quartil. Para os demais TEX foi observado que as emissões estão distribuídas acima da mediana, que apresentou valores de 20,4 $\mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ para o tolueno, 5 $\mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ para o etilbenzeno, 1,8 $\mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ para os m+p-xilenos e 1,3 $\mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ para o o-xileno.

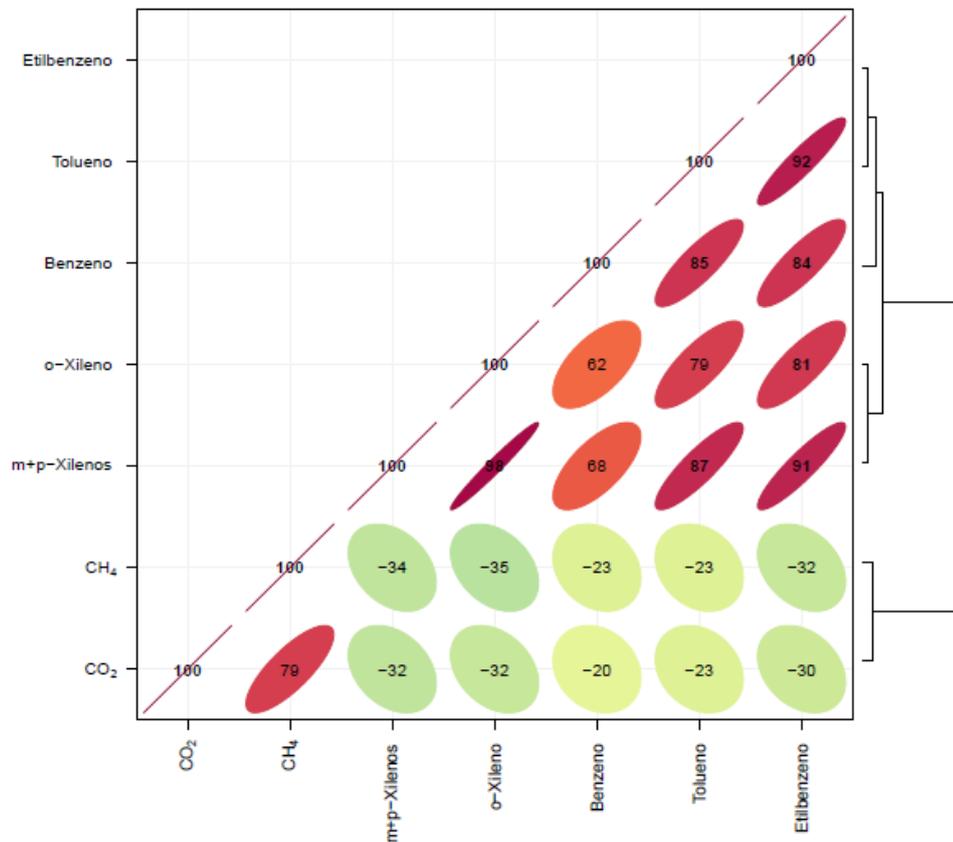
Figura 37. Resumo das emissões de BTEX do ASS.



Na Figura 38 pode ser observada a matriz de correlação de Pearson e o dendrograma dos resultados do ASS. Cabe ressaltar que esta abordagem leva em consideração todo o conjunto de dados obtido.

As emissões de CO_2 e CH_4 estão fortemente correlacionadas e formam um agrupamento ao analisar o dendrograma, contudo não há correlação destes gases com todos os BTEX, indicando que possuem fontes diferentes e variáveis diferentes que influenciam na sua emissão para a atmosfera. Dentre os BTEX, o etilbenzeno está fortemente correlacionado ao tolueno e aos m+p-xilenos. Observa-se, também, que os isômeros do xileno têm forte correlação, contudo há uma correlação menor destes em relação ao benzeno. O benzeno está mais fortemente correlacionado ao etilbenzeno quando comparados aos BTEX. Sendo assim, o etilbenzeno apresenta boa correlação com o benzeno, o tolueno e os isômeros do xileno. Em análise ao dendrograma este apresenta um agrupamento dos BTEX, indicando uma possível origem comum destes compostos.

Figura 38. Matriz de correlação dos resultados do ASS.



3.1.4. Resultados de dispersão

O cálculo da dispersão dos poluentes para o ASS foi realizado separadamente para GEE (CO₂ e CH₄) e BTEX.

As emissões de GEE foram ajustadas para reproduzir os dados experimentais de concentração calculados para 1, 8 e 24h. Para os três períodos citados foram verificadas as concentrações em relação às emissões máximas (727,7 g m⁻² dia⁻¹), média (122,3 g m⁻² dia⁻¹) e mínimas (0,4 g m⁻² dia⁻¹) de GEE.

Uma vez que foram considerados 324 pontos receptores na região ao redor do ASS, foram obtidas diferentes concentrações para todas as condições estipuladas em cada destes pontos. A maior concentração foi encontrada em um ponto localizado na região de pasto limítrofe ao terreno do aterro, a cerca de 800 m de distância em linha reta do platô superior de resíduos, com um valor de 54,1 mg m⁻³ para o período de 1h, considerando a taxa de emissão máxima de GEE encontrada para o ASS. Em contrapartida, a menor concentração foi encontrada em um ponto próximo a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em Seropédica, a cerca de 8,95 km de distância em linha reta do aterro, com um valor de 0,3 x 10⁻³ mg m⁻³ para o período de 24h, considerando a taxa de emissão mínima.

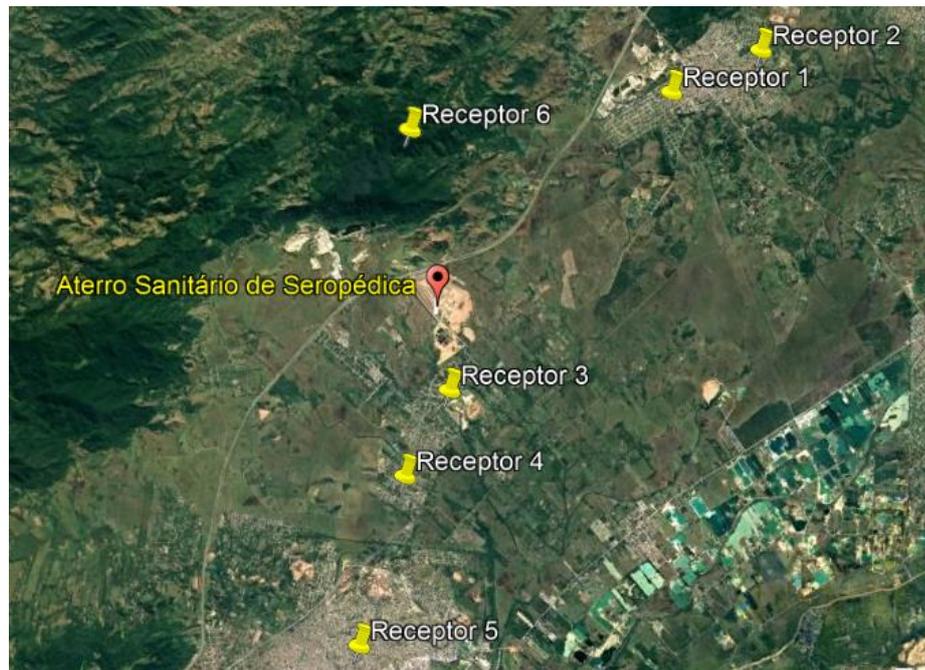
Ao comparar as médias obtidas para os diferentes períodos avaliados verificou-se que a média das concentrações para 1h é 80% maior que a média obtida para 8h e 94% maior que a obtida para 24h. A média das concentrações para 8h é 69% maior que a obtida para 24h.

Devido a grande quantidade de dados gerados com a modelagem os resultados obtidos foram avaliados, também, nos pontos receptores apontados no Quadro 24 e na Figura 39. Estes pontos foram escolhidos devido à existência de aglomerados urbanos relevantes, tal como o centro de Seropédica e Itaguaí e o bairro Chaperó, situado na margem Sul do aterro.

Quadro 22. Dados dos pontos receptores do ASS.

Ponto	Referência	Coordenada UTM (m)		Distância do aterro (km)
		Este	Norte	
Receptor 1	Centro de Seropédica	632397,06	7483605	6,98
Receptor 2	Centro de Seropédica	634397,06	7484605	9,27
Receptor 3	Chaperó	627397,06	7476605	2,45
Receptor 4	Chaperó	625397,06	7474605	4,38
Receptor 5	Centro de Itaguaí	625397,06	7470605	8,53
Receptor 6	Maçiço Montanhoso	624397,06	7482605	3,75

Figura 39. Localização dos receptores em relação ao ASS.



No Quadro 24 podem ser observados os resultados obtidos para estes receptores para todas as condições estabelecidas e na Figura 31 pode ser observada a pluma de dispersão referentes à emissão média no período de 8h. As demais plumas de dispersão são apresentadas no Apêndice V.

Verifica-se no Quadro 24 que as concentrações médias, utilizando a emissão máxima de $727,7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de GEE para modelagem, foram de $21,1 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 1 h, de $4,2 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 8 h e $1,3 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 24 h.

Para a emissão média de $122,3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de GEE, as concentrações médias obtidas foram de $3,5 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 1h, de $0,7 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 8 h e de $0,2 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 24 h.

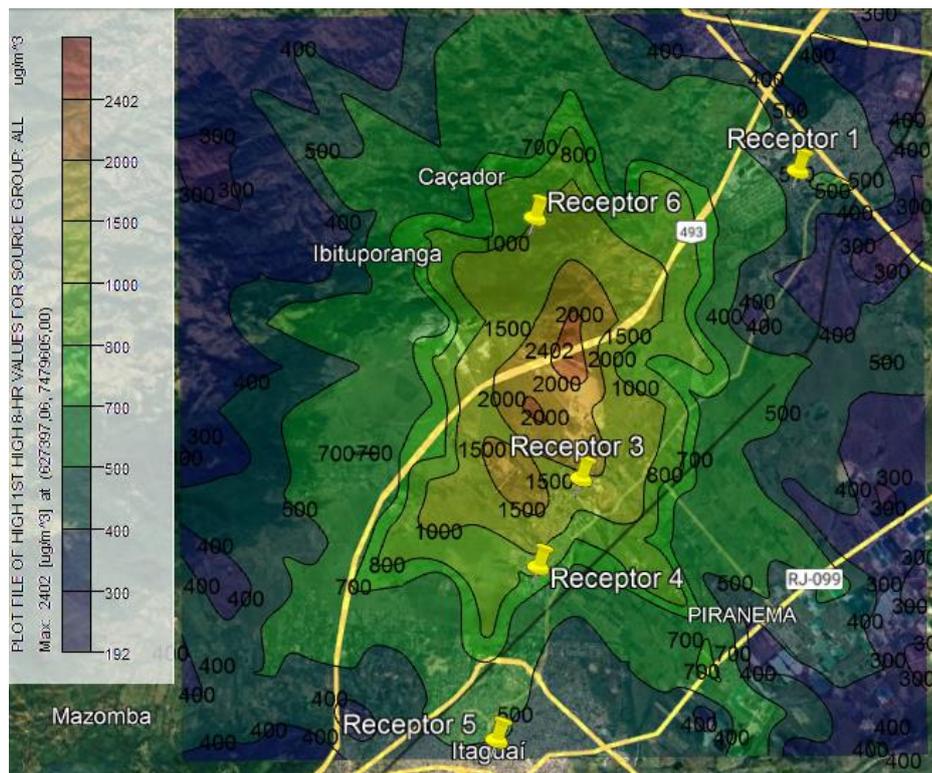
Quadro 23. Resultados de dispersão para emissões máxima, média e mínima de GEE no ASS.

Ponto	Período	Poluente	Conc. (mgm^{-3})	Poluente	Conc. (mgm^{-3})	Poluente	Conc. (mgm^{-3})
Receptor 1	1h	GEE -Máx	16,9	GEE - Med	2,8	GEE - Min	10,0
Receptor 2	1h	GEE -Máx	13,4	GEE - Med	2,2	GEE - Min	8,0
Receptor 3	1h	GEE -Máx	31,9	GEE - Med	5,3	GEE - Min	19,0
Receptor 4	1h	GEE -Máx	25,2	GEE - Med	4,2	GEE - Min	15,0
Receptor 5	1h	GEE -Máx	17,3	GEE - Med	3,0	GEE - Min	10,3
Receptor 6	1h	GEE -Máx	21,8	GEE - Med	3,6	GEE - Min	13,0
	Máximo		31,9	Máximo	5,3	Máximo	19,0
	Média		21,1	Média	3,5	Média	12,6
	Mínimo		13,4	Mínimo	2,2	Mínimo	8,0
Receptor 1	8h	GEE -Máx	2,9	GEE - Med	0,5	GEE - Min	1,75

Ponto	Período	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)
Receptor 2	8h	GEE -Máx	2,4	GEE - Med	0,4	GEE - Min	1,40
Receptor 3	8h	GEE -Máx	6,5	GEE - Med	1,1	GEE - Min	3,88
Receptor 4	8h	GEE -Máx	5,5	GEE - Med	0,9	GEE - Min	3,28
Receptor 5	8h	GEE -Máx	3,0	GEE - Med	0,5	GEE - Min	1,72
Receptor 6	8h	GEE -Máx	5,0	GEE - Med	0,8	GEE - Min	2,99
Máximo			6,5	Máximo	1,1	Máximo	3,9
Média			4,2	Média	0,7	Média	2,5
Mínimo			2,4	Mínimo	0,4	Mínimo	1,4
Receptor 1	24h	GEE -Máx	1,0	GEE - Med	0,2	GEE - Min	0,6
Receptor 2	24h	GEE -Máx	0,7	GEE - Med	0,1	GEE - Min	0,4
Receptor 3	24h	GEE -Máx	2,3	GEE - Med	0,4	GEE - Min	1,4
Receptor 4	24h	GEE -Máx	1,5	GEE - Med	0,2	GEE - Min	0,9
Receptor 5	24h	GEE -Máx	0,9	GEE - Med	0,15	GEE - Min	0,5
Receptor 6	24h	GEE -Máx	1,4	GEE - Med	0,2	GEE - Min	0,8
Máximo			2,3	Máximo	0,4	Máximo	1,4
Média			1,3	Média	0,2	Média	0,8
Mínimo			0,7	Mínimo	0,1	Mínimo	0,4

Na Figura 40 observa-se a pluma de dispersão de GEE e os resultados de concentração estão em $\mu\text{g m}^{-3}$. A escala de concentrações apresenta os valores mínimos em roxo e os valores máximos em vermelho, assim como será observado em todas as plumas apresentadas.

Figura 40. Concentrações obtidas na pluma de dispersão considerando o período de 8 h e taxa de emissão média de GEE para o ASS.



Para a emissão mínima de $0,4 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de GEE, as concentrações foram de $12,6 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 1h, de $2,5 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 8h e de $0,8 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 24h.

Os resultados mostram que quanto maior o tempo de exposição e menor a taxa de emissão utilizada na modelagem menor é a concentração encontrada. Além disso, pode-se fazer uma avaliação das concentrações devido aos pontos receptores analisados.

Os pontos receptores 3 e 4, localizados no bairro Chaperó, vizinho ao aterro, apresentaram as maiores concentrações para os períodos de 1, 8 e 24h para as taxas de emissão máxima, média e mínima. Estes pontos estão a uma distância de 2,45 km e 4,38 km em linha reta em relação ao aterro, respectivamente.

O segundo ponto receptor mais próximo do aterro está localizado a 3,75 km, no maciço montanhoso ao norte do aterro (Receptor 6). As concentrações obtidas para este ponto são as terceiras maiores para todas as condições estipuladas.

Os demais pontos receptores 1 e 2 (Centro de Seropédica) e receptor 5 (Centro de Itaguaí) se encontram a uma distância de 6,98 km, 9,27 km e 8,53 km do aterro. Em todos os casos as menores concentrações de GEE encontradas são referentes ao ponto receptor 2, que é o mais distante do aterro em linha reta.

O ponto receptor 5 está localizado na segunda maior distância em relação ao aterro e apresentou a segunda menor concentração para os períodos de 8 e 24h e terceira menor para o período de 1h, revezando com o ponto receptor 2, ou seja, quando o receptor 5 apresenta a segunda maior concentração o receptor 2 apresenta a terceira maior e vice e versa.

Observa-se que os pontos receptores 1, 2 e 5 estão mais distantes em relação ao aterro e apresentaram as menores concentrações dentre os receptores analisados.

Não há legislação que determine limites de concentração no ar para os GEE, contudo segundo o relatório do IPCC de 2014 a média de concentração de CO_2 no planeta é de 703 mg m^{-3} e de CH_4 é de $1,3 \text{ mg m}^{-3}$, totalizando uma concentração de GEE de $704,3 \text{ mg m}^{-3}$.

Todas as concentrações encontradas para todas as condições estudadas estão bem abaixo do valor médio estimado pelo IPCC de 2014, porém os valores calculados aqui devem ser somados às concentrações de *background* existentes na região, senso assim as emissões do aterro contribuem para o incremento dos valores de GEE na região.

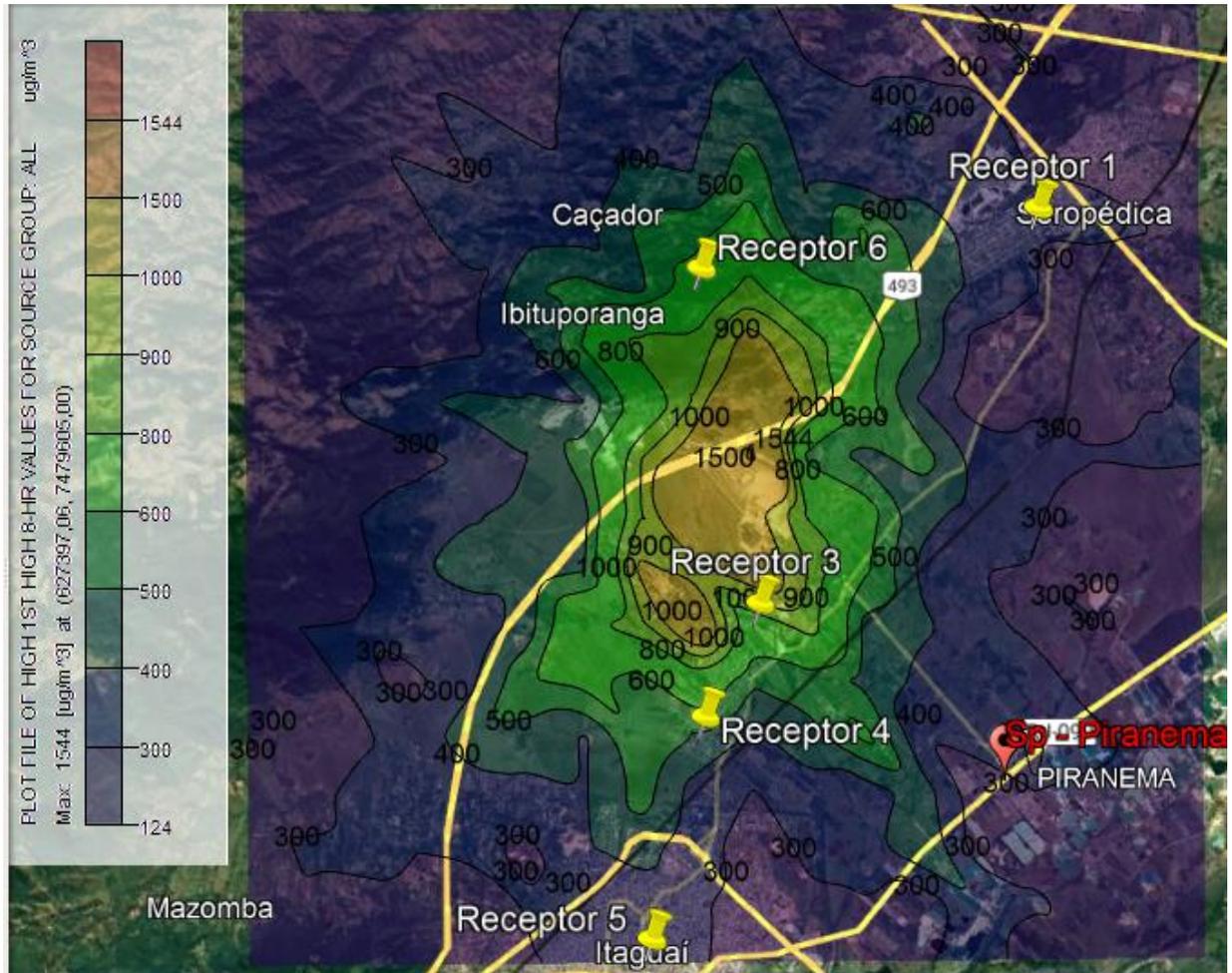
A fim de comparar as concentrações obtidas através da modelagem, foram analisados dados de monitoramento da qualidade do ar de uma estação do INEA. Esta estação é a Automática de Piranema localizada a 7km de distância em linha reta do ASS, na direção Sudeste.

Tendo em vista que um dos poluentes analisados na estação é o CH₄, foi feita uma modelagem considerando apenas a emissão deste poluente para as mesmas condições estabelecidas para o GEE. Tal como pode ser observado no Quadro 26 e na Figura 41, que apresenta a pluma de dispersão referentes à emissão média de CH₄ no período de 8h.

Quadro 24. Resultados de dispersão para emissões máxima e média de CH₄ no ASS.

Ponto	Período	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)
Receptor 1	1h	CH ₄ -Máx	13,4	CH ₄ - Med	1,8
Receptor 2	1h	CH ₄ -Máx	10,7	CH ₄ - Med	1,4
Receptor 3	1h	CH ₄ -Máx	25,4	CH ₄ - Med	3,4
Receptor 4	1h	CH ₄ -Máx	20,1	CH ₄ - Med	2,7
Receptor 5	1h	CH ₄ -Máx	13,8	CH ₄ - Med	1,9
Receptor 6	1h	CH ₄ -Máx	17,4	CH ₄ - Med	2,3
Máximo			25,4	Máximo	3,4
Média			16,8	Média	2,3
Mínimo			10,7	Mínimo	1,4
Receptor 1	8h	CH ₄ -Máx	2,3	CH ₄ - Med	0,3
Receptor 2	8h	CH ₄ -Máx	1,9	CH ₄ - Med	0,3
Receptor 3	8h	CH ₄ -Máx	5,2	CH ₄ - Med	0,7
Receptor 4	8h	CH ₄ -Máx	4,4	CH ₄ - Med	0,6
Receptor 5	8h	CH ₄ -Máx	2,3	CH ₄ - Med	0,3
Receptor 6	8h	CH ₄ -Máx	4,0	CH ₄ - Med	0,5
Máximo			5,2	Máximo	0,7
Média			3,4	Média	0,5
Mínimo			1,9	Mínimo	0,3
Receptor 1	24h	CH ₄ -Máx	0,8	CH ₄ - Med	0,10
Receptor 2	24h	CH ₄ -Máx	0,5	CH ₄ - Med	0,07
Receptor 3	24h	CH ₄ -Máx	1,9	CH ₄ - Med	0,25
Receptor 4	24h	CH ₄ -Máx	1,2	CH ₄ - Med	0,16
Receptor 5	24h	CH ₄ -Máx	0,7	CH ₄ - Med	0,10
Receptor 6	24h	CH ₄ -Máx	1,1	CH ₄ - Med	0,15
Máximo			1,9	Máximo	0,2
Média			1,0	Média	0,1
Mínimo			0,5	Mínimo	0,1

Figura 41. Concentrações obtidas na pluma de dispersão considerando o período de 8 h e taxa de emissão média de CH₄ para o ASS.



Verifica-se no Quadro 26 que as concentrações médias, utilizando a emissão máxima de 574,6 g m⁻² d⁻¹ de CH₄, foram de 16,8 mg m⁻³ para o período de 1h, de 3,4 mg m⁻³ para o período de 8h e 1,0 mg m⁻³ para o período de 24h.

Ao utilizar a emissão média de 77,6 g m⁻² d⁻¹ de CH₄, foram de 2,3 mg m⁻³ para o período de 1h, de 0,5 mg m⁻³ para o período de 8h e 0,1 mg m⁻³ para o período de 24h.

Os dados relativos à emissão mínima não foram demonstrados no Quadro 26 pois foram da ordem de 10⁻³ a 10⁻⁵ mg m⁻³.

Vale destacar que a taxa de emissão máxima é correspondente a maior fissura encontrada na camada de cobertura durante todo o período de amostragem e a taxa de emissão mínima corresponde a camada de cobertura sem fissuras. Assim como já foi apresentado anteriormente.

A média de concentração de CH₄ medida na Estação de Piranema para o ano de 2014 foi de 1,19 mg m⁻³ e a concentração máxima foi de 2,06 mg m⁻³.

Como já foi citado anteriormente, a média apontada pelo monitoramento do IPCC é de 1,3 mg m⁻³, em consonância com a média da Estação de Piranema para o ano de 2014.

Para tanto, foi realizada uma avaliação dos valores da Estação e do IPCC em relação as concentrações nos receptores 1 a 6, tal como pode ser visualizado nas Figuras 33 e 34.

Verificou-se que na condição de emissão máxima de CH₄ (Figura 42) no período de 1 h todos os receptores apresentaram concentração acima de 2,06 mg m⁻³ (máximo). Na condição de 8 h todos ficaram acima de 2,06 mg m⁻³, com exceção do receptor 2, localizado no centro de Seropédica, a 9 km de distância do ASS. Na condição de 24 h apenas o receptor 3 ficou acima de 1,19 mg m⁻³ (média) e acima de 1,3 mg m⁻³ (média do IPCC), situado no bairro de Chaperó, a 2,45 km de distância do aterro.

Para a condição de emissão média de CH₄ (Figura 43) no período de 1 h os receptores 3, 4 e 6 apresentaram concentração acima de 2,06 mg m⁻³ (máximo) e todos os receptores apontaram concentrações acima de 1,19 mg m⁻³ (média) e de 1,3 mg m⁻³ (média do IPCC). Na condição de 8 e 24 h todos os receptores apresentaram concentrações abaixo da média da Estação de Piranema e do IPCC.

Devido à proximidade entre a média da estação de monitoramento e a média do IPCC, a representação destes valores na Figura 42 ficou sobreposta.

Figura 42. Relação entre as concentrações de CH₄ para condição de emissão máxima e a Estação de monitoramento de Piranema.

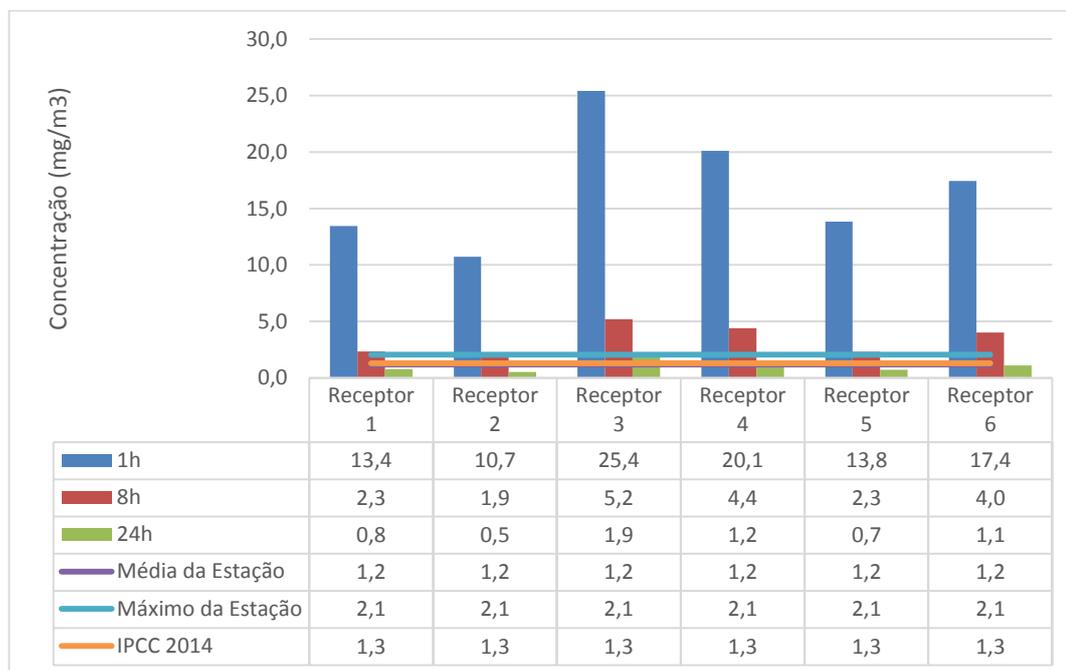
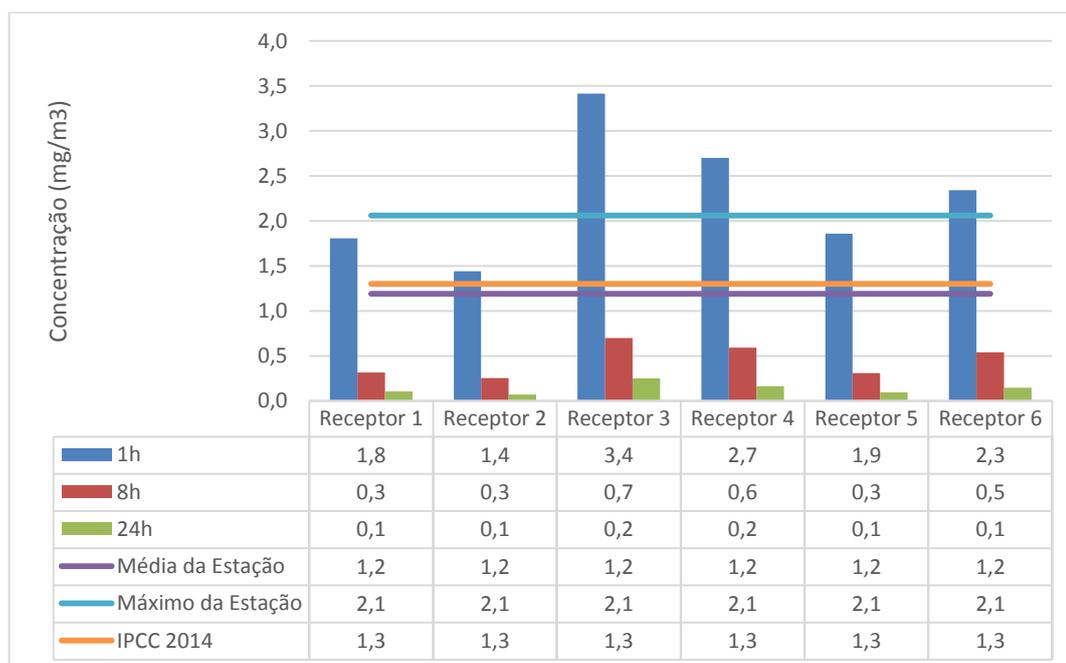


Figura 43. Relação entre as concentrações de CH₄ para condição de emissão média e a Estação de monitoramento de Piranema.



Ao avaliar o ponto receptor próximo à Estação de Piranema a concentração máxima obtida foi de $14,5 \text{ mg m}^{-3}$ (emissão máxima, 1h), a concentração média foi de 0,3 e a concentração mínima foi de $1 \times 10^{-3} \text{ mg m}^{-3}$ (emissão mínima, 24h).

Verifica-se que a modelagem considerando a concentração média, ainda que mais baixa que as concentrações da Estação de Piranema, demonstra uma coerência maior em relação aos resultados de monitoramento, uma vez que há de se considerar a existência de outras fontes de poluentes nos arredores do aterro, tais como veiculares e industriais, e que somadas elevam as concentrações atmosféricas.

Para modelagem de BTEX, as emissões foram ajustadas para reproduzir os dados experimentais de concentração calculados para 1, 8 e 24h, tal como para foi estipulado para o GEE. Para os três períodos citados foram verificadas concentrações em relação às emissões máximas ($6366 \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), média ($797,9 \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e mínimas ($9,8 \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) de BTEX (somatório de BTEX).

A maior concentração foi encontrada em um ponto localizado dentro do aterro, com um valor de $0,5 \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 1h, considerando a taxa de emissão máxima de BTEX encontrada para o ASS.

Ao comparar as médias obtidas para os diferentes períodos avaliados verificou-se que a média das concentrações para 1h é 80% maior que a média obtida para 8h e 94% maior que a obtida para 24h. A média das concentrações para 8h é 69% maior que a obtida para 24h.

No Quadro 27 pode ser observado o resultado obtido para todas as condições de emissão máxima nos períodos de 1, 8 e 24h, referentes aos receptores 1 a 6, tal como foi feito para os GEE. Na Figura 44 pode ser observada a pluma de dispersão referente à emissão máxima no período de 8h. As demais plumas de dispersão são apresentadas no Apêndice V.

Quadro 25. Resultados de dispersão para emissão máxima de COV no ASS.

Ponto	Poluente	Período	Concentração ($\mu\text{g m}^{-3}$)
Receptor 1	BTEX -Máx	1h	0,15
Receptor 2	BTEX -Máx	1h	0,12
Receptor 3	BTEX -Máx	1h	0,28
Receptor 4	BTEX -Máx	1h	0,22
Receptor 5	BTEX -Máx	1h	0,15
Receptor 6	BTEX -Máx	1h	0,19
Máximo			0,28
Média			0,2
Mínimo			0,12
Receptor 1	BTEX -Máx	8h	0,3
Receptor 2	BTEX -Máx	8h	0,2

Ponto	Poluente	Período	Concentração ($\mu\text{g m}^{-3}$)
Receptor 3	BTEX -Máx	8h	0,6
Receptor 4	BTEX -Máx	8h	0,5
Receptor 5	BTEX -Máx	8h	0,3
Receptor 6	BTEX -Máx	8h	0,4
Máximo			0,6
Média			0,4
Mínimo			0,2
Receptor 1	BTEX -Máx	24h	0,1
Receptor 2	BTEX -Máx	24h	0,1
Receptor 3	BTEX -Máx	24h	0,2
Receptor 4	BTEX -Máx	24h	0,1
Receptor 5	BTEX -Máx	24h	0,1
Receptor 6	BTEX -Máx	24h	0,1
Máximo			0,2
Média			0,1
Mínimo			0,1

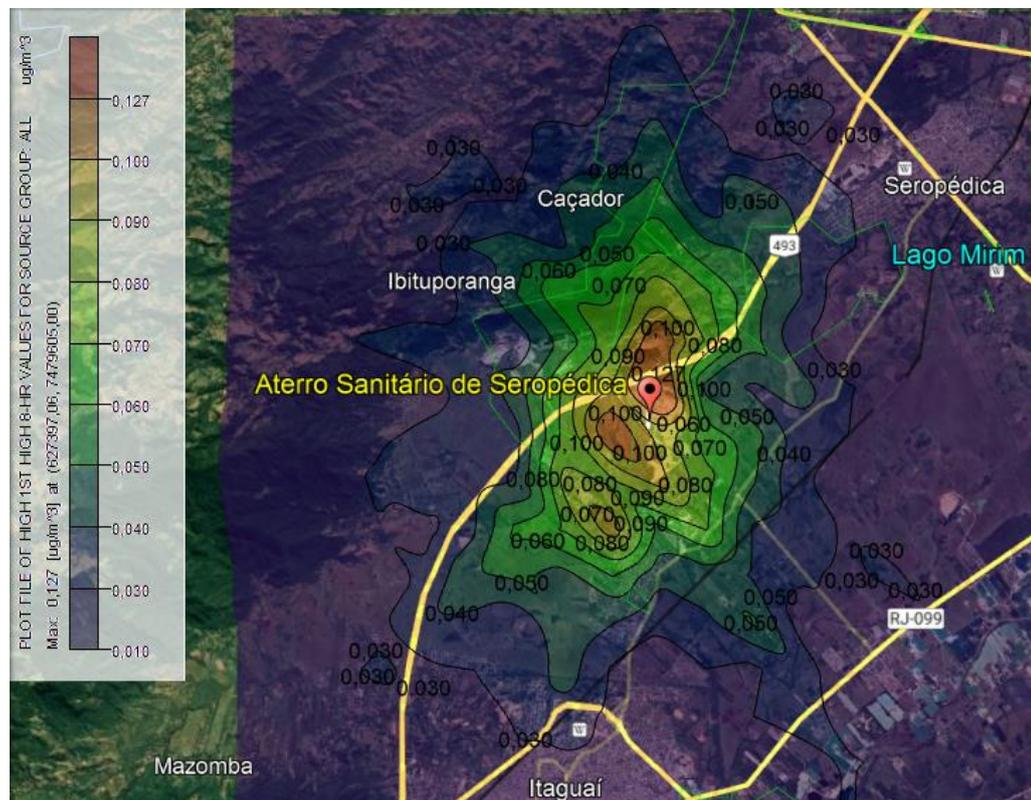
Verifica-se no Quadro 27 que as concentrações médias, utilizando a emissão máxima de $6366 \mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ de BTEX para modelagem, foram de $0,2 \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 1h, de $0,4 \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 8h e $0,1 \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 24h.

As concentrações obtidas para os casos de emissão média e mínima foram da ordem de 10^{-2} a 10^{-5} e por isso não serão apresentados todos os resultados obtidos.

Destaca-se que para emissão média, a maior concentração encontrada foi referente aos receptores 3 e 4 (distancias de 2,45 km e 4,38 km do aterro, respectivamente) para período de 1h, tendo sido encontrado um valor igual $0,3 \mu\text{g m}^{-3}$ e a menor concentração encontrada foi referente ao receptor 2 (distância de 9,27 km) para o período de 24h, com um valor de $7 \times 10^{-4} \mu\text{g m}^{-3}$.

Na condição de emissão mínima a maior concentração foi obtida para o receptor 3 para o período de 1 h como um valor de $4 \times 10^{-4} \mu\text{g m}^{-3}$ e a menor concentração encontrada foi referente aos receptores 1, 2 e 5 (distância de 6,98 km, 9,27 km e 8,53 km, respectivamente) para o período de 24h, com um valor de $1 \times 10^{-5} \mu\text{g m}^{-3}$.

Figura 44. Concentrações obtidas na pluma de dispersão considerando o período de 8 h e taxa de emissão máxima de BTEX para o ASS.

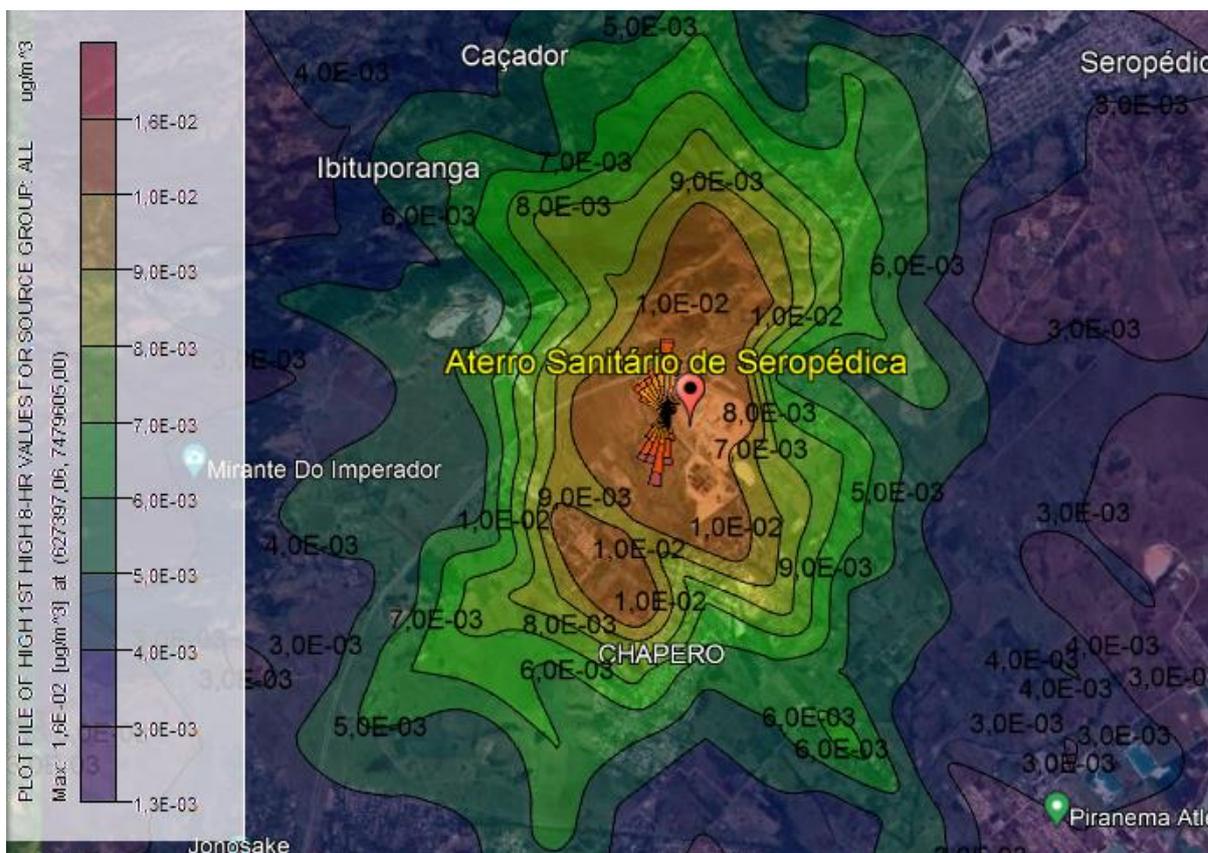


Tendo em vista os pontos receptores analisados, aqueles que se encontram mais distantes do aterro (receptores 3, 4 e 6) apresentaram as menores concentrações e os receptores mais próximos (receptores 1, 2 e 5) apresentaram as maiores concentrações.

Vale ressaltar que da mesma forma como foi visualizado para os GEE, a emissão máxima de COV está relacionada ao ponto que apresentou a maior fissura no momento em que foi realizada a coleta das amostras. Assim como a emissão mínima está relacionada aos pontos sem fissuras.

A fim de analisar a relação entre a direção para onde correm os ventos na região do ASS e as concentrações obtidas foi plotada a rosa dos ventos juntamente com a pluma de dispersão de BTEX para o período de 8h e utilizando a taxa de emissão média, tal como pode ser observado na Figura 45.

Figura 45. Representação da pluma de dispersão de BTEX e da rosa dos ventos no ASS.



Observa-se que a pluma se dispersa nas direções predominantes apontadas pela rosa dos ventos, ou seja, Norte, Sul e Sudoeste. Essa tendência foi verificada para a dispersão de BTEX e GEE.

Posto isto, verifica-se que as regiões mais próximas ao aterro localizadas nas direções predominantes de vento apresentam as maiores concentrações de BTEX e GEE. Grande parte das regiões vizinhas ao ASS caracteriza-se por áreas de pasto, contudo há o bairro Chaperó que se localiza a Sul-Sudoeste do aterro, representando o aglomerado populacional atingido pelas maiores concentrações.

Assim como foi realizado para o CH₄, buscou-se comparar as concentrações obtidas através da modelagem com as medições da Estação de monitoramento de qualidade do ar de Piranema, localizada a 7 km de distância em linha reta do ASS, na direção Sudeste.

Contudo, na Estação são realizadas medições de hidrocarbonetos não metânicos e hidrocarbonetos, ambos em ppm, não havendo especificações sobre quais os hidrocarbonetos

medidos (INEA, 2020), não sendo viável a comparação entre os resultados obtidos e os valores de monitoramento.

Sendo assim, foi feito um levantamento de resultados obtidos em outras pesquisas, sendo observado os seguintes valores:

- Corrêa (2003) determinou a concentração de BTEX no ar atmosférico na Avenida Presidente Vargas tendo verificado uma média de $85,5 \mu\text{g m}^{-3}$.
- Martins; Nunes; Corrêa (2015) coletaram amostras em diferentes locais no Rio de Janeiro. A média dos resultados foi de $61,7 \mu\text{g m}^{-3}$.
- Silva (2016) realizou campanhas em diferentes bacias aéreas na RMRJ para determinação da concentração de BTEX no ar atmosférico. A bacia aérea caracterizada pelo autor, mais próxima a Seropédica é a I, situada nos bairros de Campo Grande e Santa Cruz. A média de BTEX foi de $39,6 \mu\text{g m}^{-3}$.
- Carvalho *et al.* (2020) coletou amostras de BTEX na Barra da Tijuca, Deodoro e Maracanã. A média para a Barra da Tijuca foi de $3,69 \mu\text{g m}^{-3}$, em Deodoro foi de $3,91 \mu\text{g m}^{-3}$, e no Maracanã foi de $13,32 \mu\text{g m}^{-3}$.

No Quadro 28 pode ser observado um resumo dos destes resultados em comparação com a concentração máxima obtida para ASS.

Quadro 26. Comparação das concentrações de BTEX do ASS com outras pesquisas.

Referência	Média de Concentração de BTEX ($\mu\text{g m}^{-3}$)
ASS – concentração máxima	0,5
Corrêa (2003)	85,5
Martins; Nunes; Corrêa (2015)	61,7
Silva (2016)	39,6
Carvalho <i>et al.</i> (2020)	3,69/3,91/13,32

Verifica-se que a concentração máxima obtida para o ASS é bem inferior as demais, contudo, destaca-se que os resultados obtidos nas referências avaliadas demonstram concentrações de BTEX no ar atmosférico e que as emissões dos aterros sanitários contribuem, juntamente outras fontes de emissão, como veiculares e industriais, para os valores observados, sendo assim, os aterros se tornam contribuintes para o aumento da concentração destes poluentes no ar.

3.2. Aterro Controlado de Gramacho

3.2.1. Dados meteorológicos

A coleta das amostras no ACG seguiu uma periodicidade semanal, sendo realizada toda quarta-feira, sendo assim foram realizadas 48 visitas ao campo no ano de 2011, sendo colocadas amostras sempre no mesmo ponto (P1), tal como descrito na metodologia. No momento da coleta das amostras foram verificados parâmetros meteorológicos, temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Os dados meteorológicos observados são demonstrados no Quadro 29. A temperatura do ar variou entre 22,3 e 35,3°C com uma média de 27,9°C, já a umidade relativa do ar apresentou uma variação de 48,1 a 92,0% e uma média de 71,2 %.

Quadro 27. Dados meteorológicos observados no ACG no aparelho portátil.

Ponto	Data	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)
P1	05/01/2011	30,8	59,8
P1	12/01/2011	28,8	77,3
P1	19/01/2011	32,4	64,2
P1	26/01/2011	33,1	49,7
P1	02/02/2011	33,8	56,1
P1	09/02/2011	35,1	60,4
P1	16/02/2011	30,7	63,4
P1	23/02/2011	32,9	51,8
P1	02/03/2011	28,3	70,6
P1	16/03/2011	25,6	88,0
P1	23/03/2011	27,9	67,8
P1	30/03/2011	29,3	69,2
P1	06/04/2011	28,6	60,8
P1	13/04/2011	28,4	64,6
P1	20/04/2011	28,5	65,1
P1	27/04/2011	24,3	75,3
P1	04/05/2011	25,3	61,2
P1	11/05/2011	26,1	66,3
P1	18/05/2011	22,3	69,7
P1	25/05/2011	24,9	63,4
P1	01/06/2011	24,3	66,3
P1	08/06/2011	25,7	55,2
P1	15/06/2011	23,2	92,0
P1	22/06/2011	24,2	91,0
P1	29/06/2011	24,7	90,8
P1	06/07/2011	25,7	89,8
P1	13/07/2011	25,1	90,0
P1	20/07/2011	26,3	88,3
P1	27/07/2011	26,9	83,0
P1	03/08/2011	27,1	83,4
P1	10/08/2011	27,3	78,9
P1	17/08/2011	27,1	77,7

Ponto	Data	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)
P1	24/08/2011	24,3	78,9
P1	31/08/2011	24,1	77,4
P1	14/09/2011	23,2	79,0
P1	21/09/2011	29,6	78,7
P1	28/09/2011	25,0	68,9
P1	05/10/2011	26,1	64,7
P1	19/10/2011	25,7	71,2
P1	26/10/2011	26,9	59,2
P1	09/11/2011	31,7	54,4
P1	16/11/2011	30,0	87,1
P1	23/11/2011	29,3	87,6
P1	30/11/2011	30,1	60,8
P1	07/12/2011	28,7	72,8
P1	14/12/2011	31,9	63,0
P1	21/12/2011	35,3	48,1
P1	28/12/2011	32,1	72,2
Mínimo		22,28	48,13
Média		27,89	71,15
Máximo		35,31	92,01

Vale destacar que a média da umidade relativa (71,2 %) demonstra que na maior parte dos dias em que houve coleta de amostras, a umidade do ar se apresentava elevada, o que influencia diretamente na umidade do solo da camada de cobertura, afetando a taxa de emissão do aterro.

Além dos dados coletados em campo, foram levantados dados meteorológicos observados pelo INMET, para o período de janeiro a dezembro de 2011. A média de intensidade de vento anual observada ficou entorno de $3,3 \text{ ms}^{-1}$ e calmarias de 7,1%, com predominância para a direção Sudeste, demonstrado na Figura 46. A Figura 47 apresenta a distribuição das classes de ventos na região.

Utilizando a Escala de Beaufort (Marinha do Brasil, 2018) observa-se que a maior parte das ocorrências é de brisa leve ($1,5$ a $3,3 \text{ m s}^{-1}$), com 48,4% das ocorrências, seguido por brisas fraca ($3,3$ a $5,5 \text{ m s}^{-1}$), com 26,3% e brisas moderadas ($5,5$ a $7,9 \text{ m s}^{-1}$), com 11,9% da ocorrência de ventos. A classificação mais elevada para o período observado foi de vento fresco.

Os dados meteorológicos demonstraram ainda a temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade do vento e da rajada de vento. Valores mínimos, médios e máximos observados para estes parâmetros são apresentados no Quadro 30.

Figura 46. Rosa dos Ventos – Estação Meteorológica A603 – janeiro a dezembro de 2011.

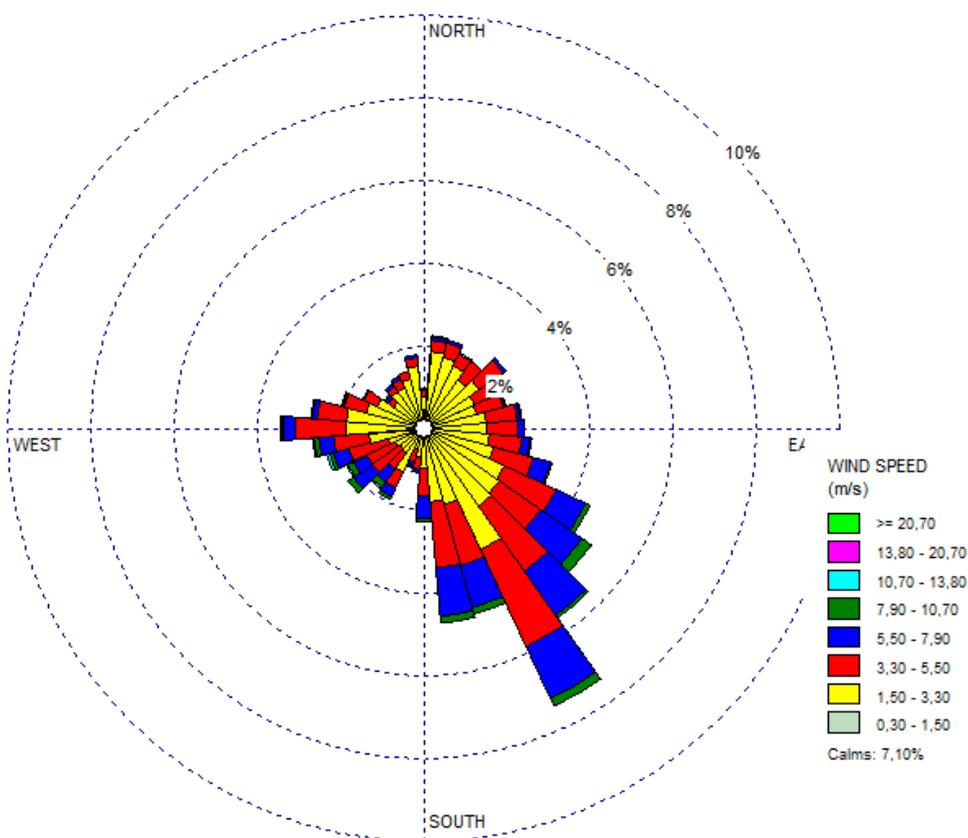
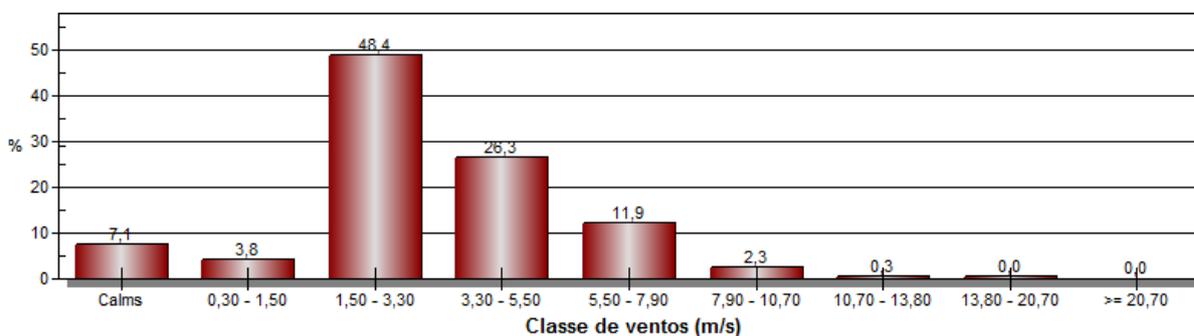


Figura 47. Distribuição das classes de vento para ACG.



Quadro 28. Resumo dos parâmetros meteorológicos da Estação A603.

Parâmetro meteorológico	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura (°C)	10,5	23,2	41,1
Umidade relativa (%)	14	55,3	100
Pressão atmosférica (hPa)	998,5	1012,8	1026,9
Temp. ponto de orvalho (°C)	1,0	17,5	27,4
Velocidade do vento ($m s^{-1}$)	0	3,3	15,4
Velocidade da rajada ($m s^{-1}$)	0	2,9	18,8

Os dados observados do INMET para o período de um ano demonstraram uma temperatura mínima de 10,5°C e máxima de 41,1°C. A umidade do ar variou entre 14 e 100%.

Para os dados coletados em campo a temperatura mínima observada foi de 22,3°C e a máxima foi de 35,3°C. Quanto à umidade do ar, foi obtida uma variação de 48 a 100 %.

Observando os dados meteorológicos apresentados, verifica-se a predominância de temperatura e umidade altas e com predominância de ventos na direção Sudeste.

3.2.2. Dados topográficos

Para obtenção de dados topográficos da região ao redor do ACG, foi delimitada uma área de 289 km², no intuito de abranger os territórios urbanos próximos ao ACG, ou seja, parte da cidade de Duque de Caxias e do Rio de Janeiro (Ilha do Governador e comunidade do Alemão). A área delimitada pode ser visualizada na Figura 48.

Figura 48. Área delimitada ao redor do ACG para busca de dados topográficos.



A partir desta área foram gerados, automaticamente, 650 pontos, como espaçamento mínimo de 500 metros entre eles (Figura 49).

Figura 49. Mapa dos pontos de dados topográficos levantados ao redor do ACG.



Os dados foram armazenados em uma planilha, com as coordenadas (UTM) e altimetria, tal como exemplo do Quadro 31.

Quadro 29. Coordenadas e altimetria de pontos da área próxima ao ACG.

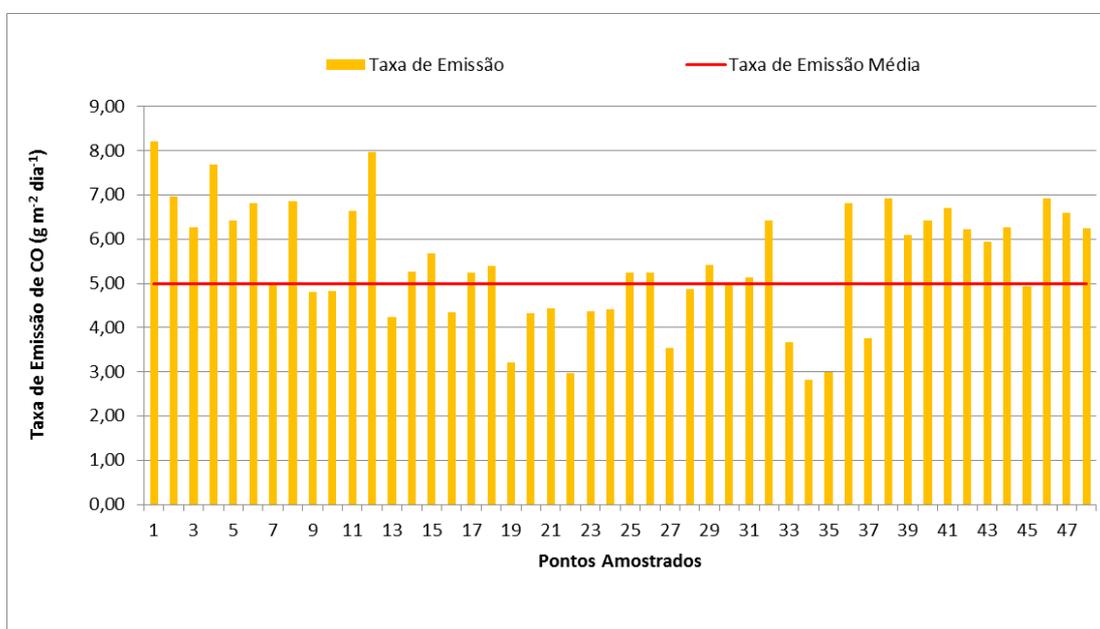
Pontos	Coordenadas UTM (metros)		Altimetria (metros)
	Este	Norte	
1	683.077,027	7.491.932,261	3,6
2	674.755,448	7.474.289,037	47,6
3	683.758,805	7.484.545,695	0,0
4	673.388,049	7.481.302,853	62,6
5	677.346,098	7.481.935,612	6,6

A altimetria ao redor do ACG variou entre 0 e 70 m. O ACG ocupa uma área classificada com urbana, rodeado por construções nas direções Noroeste, Oeste e Sudoeste. Ao Norte do aterro está situado o Polo Petroquímico de Campos Elíseos e a Baía de Guanabara de Sul a Nordeste.

3.2.3. Dados de emissão

Neste capítulo são demonstrados os resultados de emissão obtidos para CO, GEE (CO₂, CH₄ e N₂O), BTEX e HC (C₆ a C₁₂). Nas Figuras 50 a 53 podem ser observados os resultados das emissões de CO, CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente e no Quadro 32 apresenta o resumo dos resultados das taxas de emissão, com médias, mínimas e máximas de cada um dos gases. A Tabela com todos os resultados encontra-se no Apêndice IV.

Figura 50. Taxas de emissão de CO em g m⁻² dia⁻¹ do ACG.



Quadro 30. Resumo das emissões de CO e GEE na camada de cobertura intermediária do ACG.

Resumo	Taxa de emissão			
	CO (g m ⁻² dia ⁻¹)	CO ₂ (g m ⁻² dia ⁻¹)	CH ₄ (g m ⁻² dia ⁻¹)	N ₂ O (mg m ⁻² dia ⁻¹)
Mínimo	2,83	743,68	387,19	209,82
Média	5,47	852,70	421,32	419,43
Máximo	8,22	992,57	481,99	659,59

Figura 51. Taxas de emissão de CO₂ em g m⁻² dia⁻¹ do ACG.

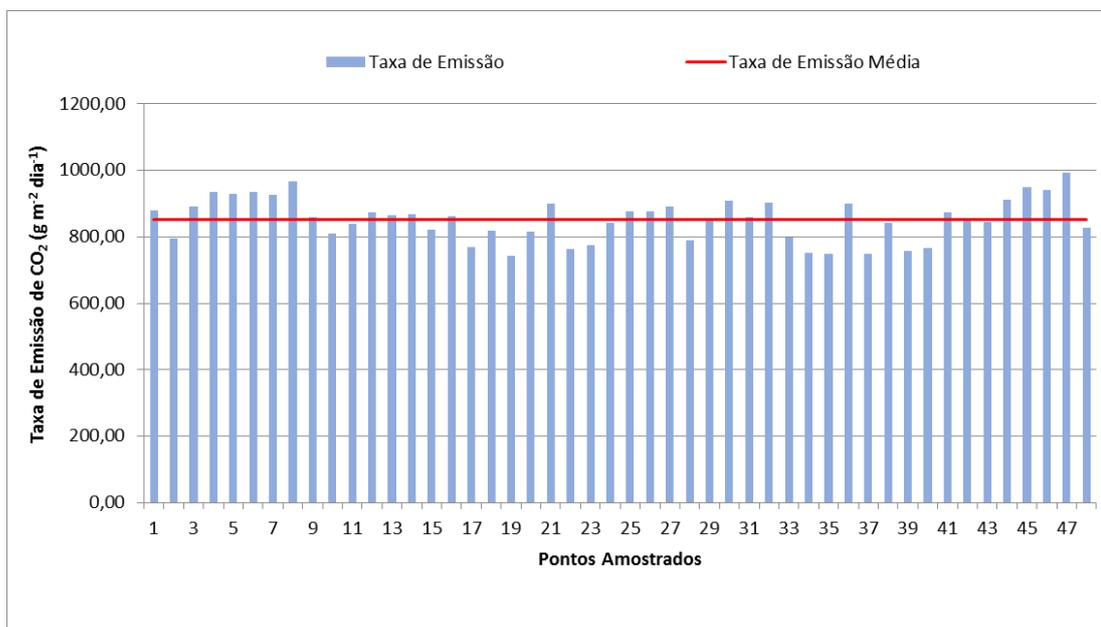


Figura 52. Taxas de emissão de CH₄ em g m⁻² dia⁻¹ do ACG.

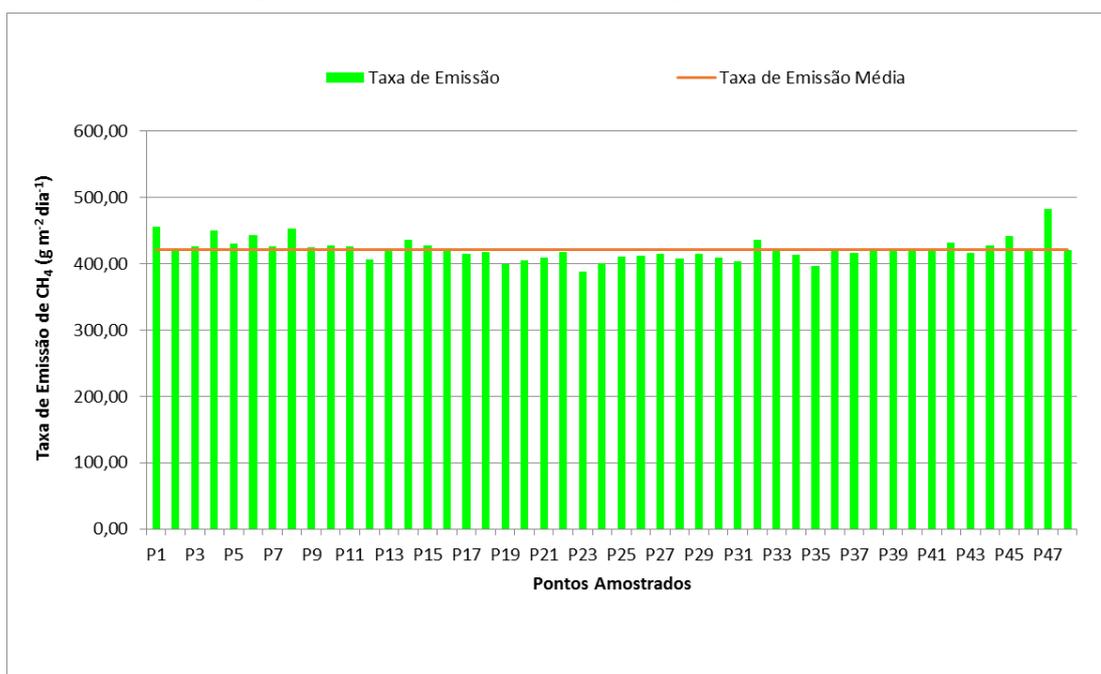
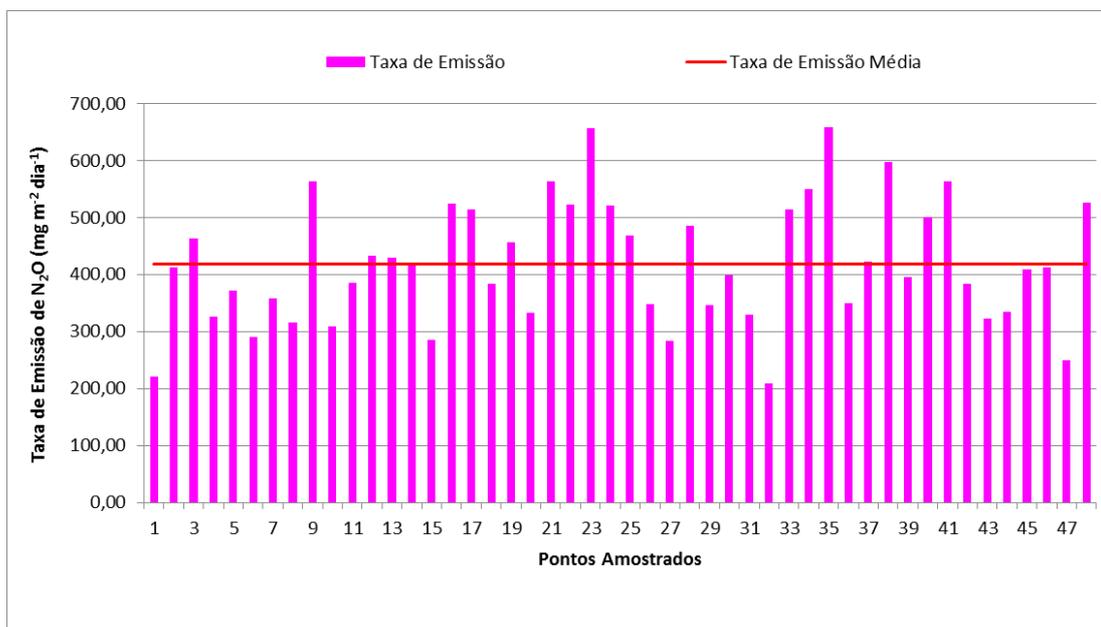


Figura 53. Taxas de emissão de N₂O em mg m⁻² dia⁻¹ do ACG.



Ao analisar as Figuras 50 a 53 e o Quadro 32 é possível observar que os pontos P3 e P41 apresentaram taxas de emissão acima das médias para todos os gases. Já os pontos P18, P20 e P29 apresentaram taxas de emissão abaixo das médias para todos os gases.

A taxa de emissão média de CO foi de 5,47 g m⁻² dia⁻¹ e 22 pontos apresentaram taxas acima da média. As taxas mínima e máxima de CO foram de 2,83 g m⁻² dia⁻¹ (ponto P34) e 8,22 g m⁻² dia⁻¹ (ponto P1), respectivamente. A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima de emissão de CO, em relação a todos os pontos amostrados foi de 5,40 g m⁻² dia⁻¹, ou seja, a taxa de emissão no ponto P1 foi 2,9 vezes maior que a observada no ponto P34. Dentre os pontos que apresentaram emissão acima da média para o CO, observa-se uma diferença de 2,55 g m⁻² dia⁻¹ e para os pontos abaixo da média, a diferença foi de 2,59 g m⁻² dia⁻¹.

A taxa de emissão média de CO₂ foi de 852,70 g m⁻² dia⁻¹ e 25 pontos apresentaram taxas acima da média, sendo o gás com maior número de pontos nesta condição. As taxas mínima e máxima de CO₂ foram de 743,68 g m⁻² dia⁻¹ (ponto P19) e 992,57 g m⁻² dia⁻¹ (ponto P47), respectivamente. A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima de emissão de CO₂, em relação a todos os pontos amostrados foi de 248,89 g m⁻² dia⁻¹, ou seja, a taxa de emissão no ponto P47 foi 1,33 vezes maior que a observada no ponto P19.

Dos 48 pontos amostrados, 21 apresentaram taxas de emissão acima da média para CH₄ e N₂O, com médias 421,32 g m⁻² dia⁻¹ e 419,43 mg m⁻² dia⁻¹, respectivamente.

A taxa mínima de CH₄ foi de 387,19 g m⁻² dia⁻¹ (ponto P23) e a taxa máxima foi 482 g m⁻² dia⁻¹ (ponto P47). Enquanto a taxa mínima de N₂O foi de 210 mg m⁻² dia⁻¹ (ponto P32) e a taxa máxima foi de 660 mg m⁻² dia⁻¹ (ponto P35).

A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima de emissão de CH₄, em relação a todos os pontos amostrados foi de 94,79 g m⁻² dia⁻¹, ou seja, a taxa de emissão no ponto P47 foi 1,24 vezes maior que a observada no ponto P23, sendo a menor diferença observada entre as taxas máximas e mínimas, em relação ao CO, CO₂ e N₂O.

Para o N₂O, a diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima de emissão, em relação a todos os pontos amostrados foi de 450 g m⁻² dia⁻¹, ou seja, a taxa de emissão no ponto P35 foi 3,14 vezes maior que a observada no ponto P32, sendo a maior diferença observada entre as taxas máximas e mínimas, em relação ao CO, CO₂ e CH₄.

Vale destacar que as coletas no ACG não foram realizadas em pontos com fissuras, tal como no ASS, e por isso pode-se verificar que não uma variação tão grande entre as taxas de emissão máxima e mínima, tal como ocorre para as taxas de emissão encontradas no ASS.

A fim de avaliar a quantidade em massa de cada poluente emitida pelo ACG foram consideradas as taxas médias de emissão de CO, CO₂, CH₄eN₂Oe a área total do aterro de 1.300.000 m². Verificou-se emissões de 7.111.000 g por dia de CO, 1.108.510.000 g por dia de CO₂, 547.716.000 g por dia de CH₄ e545.259.000 g por dia de N₂O.

Quanto aos resultados de HC e BTEX, estes podem ser observados nas Figuras 54 e 55, e no Quadro 34 apresenta o resumo dos resultados das taxas de emissão, com médias, mínimos e máximos de cada um dos gases. A Tabela com todos os resultados encontra-se no ApêndiceIV.

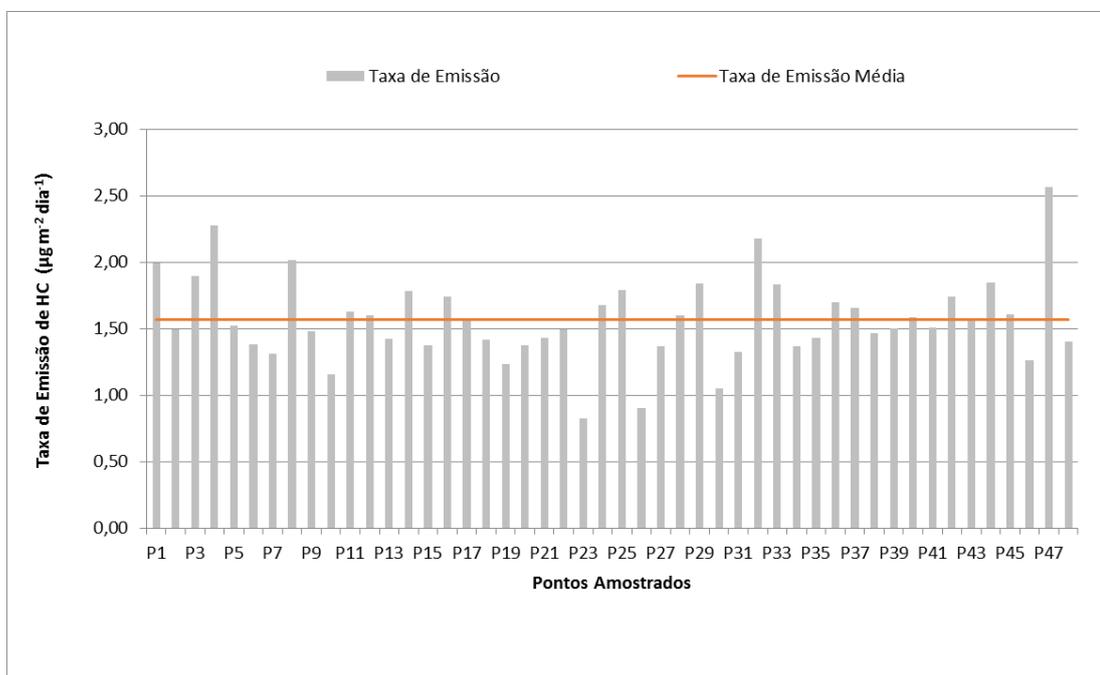
Quadro 31. Resumo das emissões de HC (C6 a C12) e BTEX na camada de cobertura intermediária do ACG.

Resumo	Taxa de emissão (µg m ⁻² dia ⁻¹)					
	HC	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m+p – Xilenos	o – Xileno
Mínimo	0,83	10,58	491,05	177,93	55,87	27,41
Média	1,57	17,99	644,98	252,46	106,02	38,99
Máximo	2,57	26,16	824,77	360,01	133,11	49,29

Ao analisar as Figuras 54 e 55 é possível observar que os pontos P1, P14, P16, P32, P33, P40 e P47 apresentaram taxas de emissão acima das médias para todos os gases. Já os pontos P2, P20, P21, P22 e P27 apresentaram taxas de emissão abaixo das médias para todos os gases.

O ponto P18 apresenta emissão acima da média para BTEX e os pontos P8, P36 e P47 apresenta emissão abaixo da média para estes gases.

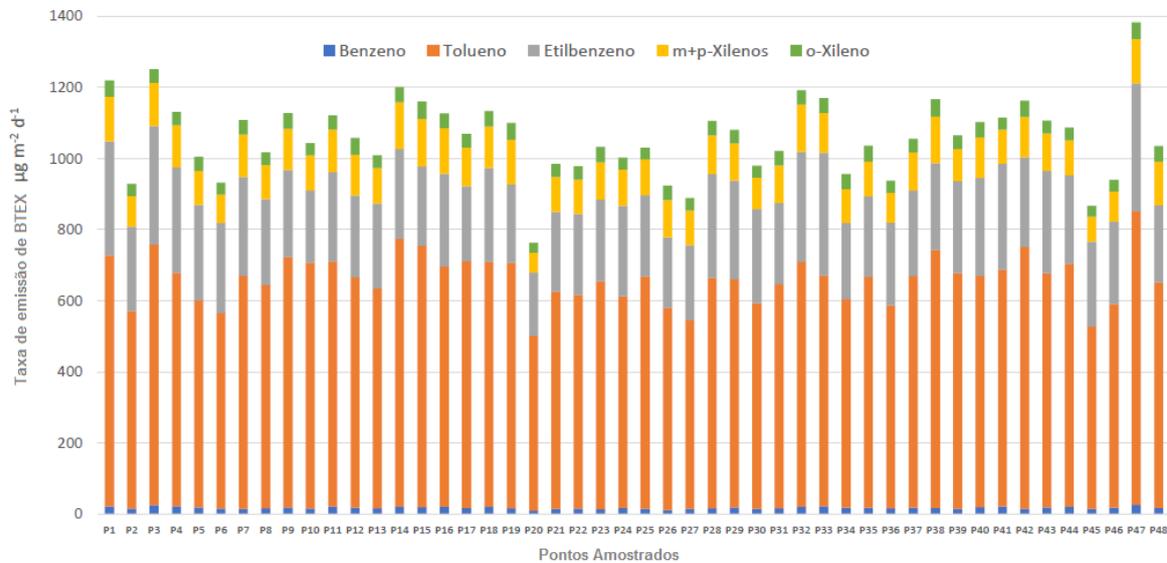
Figura 54. Taxas de emissão de hidrocarbonetos em $\mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ do ACG.



A taxa de emissão média de HC foi de $1,57 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e 23 pontos apresentaram taxas acima da média. As taxas mínima e máxima de HC foram de $0,83 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P23) e $2,57 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P47), respectivamente. A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima de emissão de HC, em relação a todos os pontos amostrados foi de $1,74 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, ou seja a taxa de emissão no ponto P47 foi 3,1 vezes maior que a observada no ponto P23. Para os pontos que apresentaram emissão acima da média, observa-se uma diferença de $1,82 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ entre a maior e a menor taxa, enquanto que para os pontos abaixo da média, a diferença foi de $1,34 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$.

A taxa de emissão média de benzeno foi de $17,99 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e 23 pontos apresentaram taxas acima da média. As taxas mínima e máxima de benzeno foram de $10,58 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P20) e $26,16 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P47), respectivamente. A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima de emissão de benzeno, em relação a todos os pontos amostrados foi de $15,58 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, ou seja a taxa de emissão no ponto P47 foi 2,47 vezes maior que a observada no ponto P20.

Figura 55. Taxas de emissão de BTEX em $\mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ do ACG.



A taxa de emissão média de tolueno foi de $644,98 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ e 28 pontos apresentaram taxas acima da média, sendo o gás com maior número de pontos nesta condição. As taxas mínima e máxima de tolueno foram de $491,05 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P20) e $824,77 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P47), respectivamente. A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima de emissão de tolueno, em relação a todos os pontos amostrados foi de $333,52 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, ou seja a taxa de emissão no ponto P47 foi 1,68 vezes maior que a observada no ponto P20.

Dos 48 pontos amostrados, 20 apresentaram taxas de emissão acima da média para etilbenzeno, com média $252,5 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$. A taxa mínima de etilbenzeno foi de $177,9 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P20) e a taxa máxima foi $360,0 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P47). A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima, em relação a todos os pontos amostrados foi de $182,1 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, ou seja a taxa de emissão no ponto P47 foi 2,02 vezes maior que a observada no ponto P20.

Para os m+p-xilenos, 23 pontos apresentaram taxas de emissão acima da média, com valor de $106,0 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$. A taxa mínima de m+p-xileno foi de $55,87 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P20) e a taxa máxima foi $133,1 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P32). A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima, em relação a todos os pontos amostrados foi de $77,24 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, ou seja a taxa de emissão no ponto P32 foi 2,38 vezes maior que a observada no ponto P20.

O o-xileno teve média da taxa de emissão de $38,99 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, apresentando 24 pontos acima desta. A taxa mínima foi de $27,41 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P20) e a taxa máxima foi $49,29 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P47).

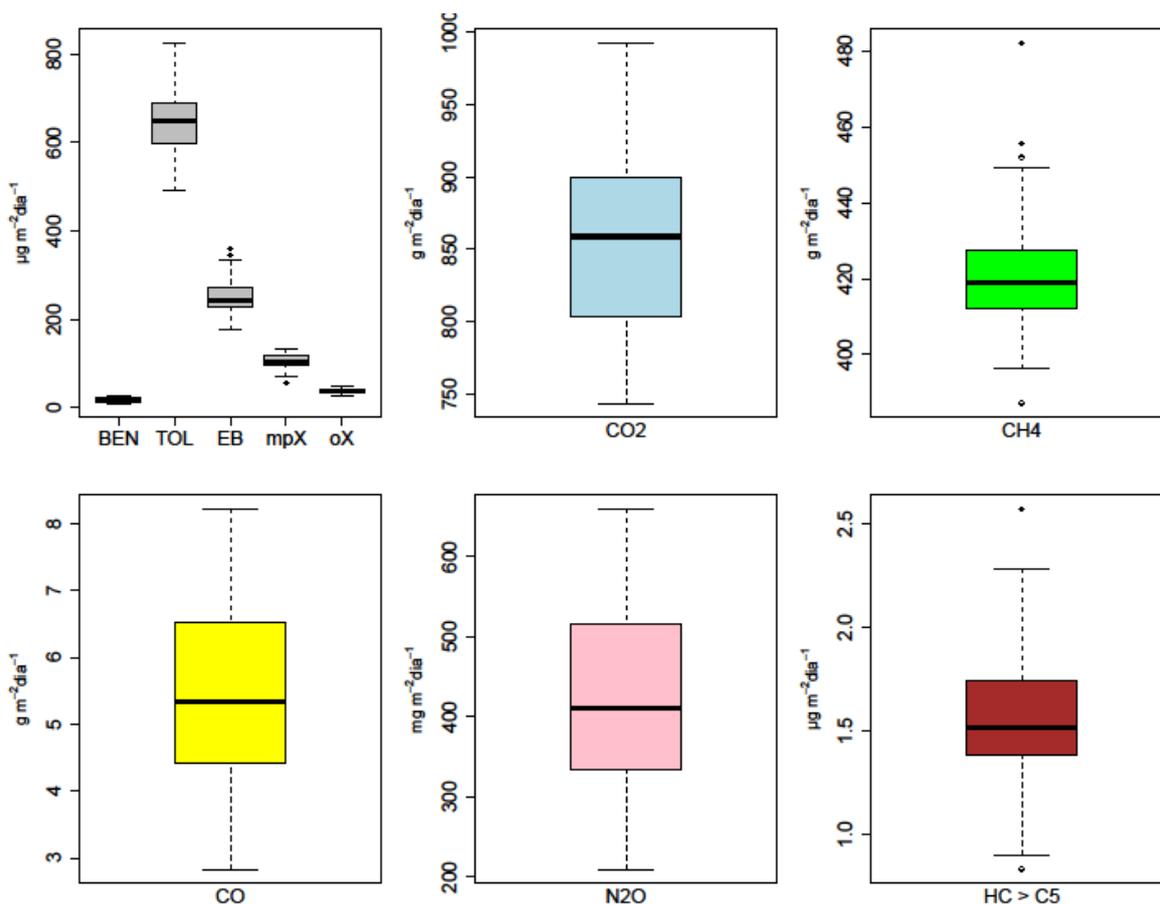
$\text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (ponto P38). A diferença entre a taxa máxima e a taxa mínima, em relação a todos os pontos amostrados foi de $21,88 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, ou seja a taxa de emissão no ponto P38 foi 1,80 vezes maior que a observada no ponto P20.

O ponto P20 apresentou a menor taxa de emissão para o benzeno, tolueno, etilbenzeno m,p,o-xilenos, e o ponto P47 apresentou taxa máxima de emissão para o HC, benzeno, tolueno e etilbenzeno.

A fim de avaliar a quantidade em massa de cada poluente emitida pelo ACG foram consideradas as taxas médias de emissão de BTEX e HC > 5C, e a área total do aterro de $1.300.000 \text{ m}^2$. Verificou-se emissões de 23,4 g por dia de benzeno, 838,5 g por dia de tolueno, 328,2 g por dia de etilbenzeno, 188,5 g por dia de xilenos e 2,04 g por dia de HC.

A Figura 56 apresenta o boxplot com avariação da emissão de BTEX, CO_2 , CH_4 , CO, N_2O e HC na camada de cobertura intermediária do ACG.

Figura 56. Resumo das emissões do ACG.



É possível observar, dentre os BTEX, que o tolueno e o etilbenzeno apresentaram as maiores taxas de emissão, maior variação e altas medianas. As emissões de BTEX estão distribuídas acima da mediana, com valores de $1,7 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ para o benzeno, $50,7 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ para o tolueno, $16,8 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ para o etilbenzeno, $8,6 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ para os m+p-xilenos e $3,4 \mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ para o o-xileno.

Para o CO_2 , a maior parte das emissões está abaixo da mediana, com valor igual a $52,2 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e há uma boa variabilidade entre os resultados, quando comparado aos demais gases.

As taxas de emissão de CH_4 demonstraram uma pequena variação em relação aos demais gases, além destas estarem igualmente distribuídas em relação à mediana, que foi de $6,6 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

As taxas de emissão de CO e N_2O apresentaram variações similares, além de a maior parte destas estar concentrada acima da mediana, que foi de $0,9 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para o CO e de $76,8 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para o N_2O .

A mediana de HC foi de $0,1 \mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, estando a maior parte das emissões acima desta. As emissões não variaram tanto, quando comparadas com CO, CO₂ e N₂O.

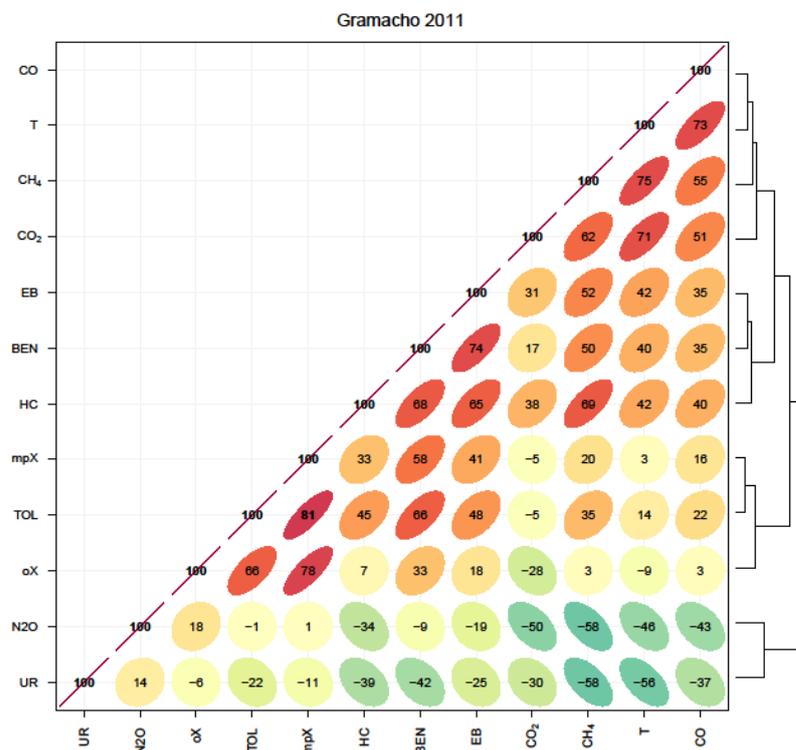
Na Figura 57 pode ser observada a matriz de correlação de Pearson e o dendrograma dos resultados do ACG. Na matriz de correlação e no dendrograma se observa que a umidade relativa apresentou correlação negativa com a maioria dos parâmetros, indicando que conforme estes diminuem, a umidade se eleva, e vice-versa. A alta umidade do ar pode influenciar a umidade do solo. Sendo assim, como os vazios do solo preenchidos por água há uma dificuldade maior para a passagem dos gases.

O N₂O apresentou condição semelhante à umidade relativa, formando um agrupamento.

O tolueno, os isômeros do xileno apresentaram fortes correlações, sendo a maior entre o tolueno e os m+p-xilenos. No geral há uma forte correlação de emissão entre os BTEX e os HC.

Pode se observar, também, uma forte relação entre a temperatura e a emissão de CO, CO₂ e CH₄, sendo representada como um agrupamento através do dendrograma. Sendo assim, quanto maior a temperatura, maior a taxa de emissão destes gases. A temperatura influencia diretamente na atividade bacteriana, sendo assim no dia 21 de dezembro de 2011 foi medida a maior temperatura em campo (35,3°C) e as maiores taxas de emissão de CH₄ e CO₂.

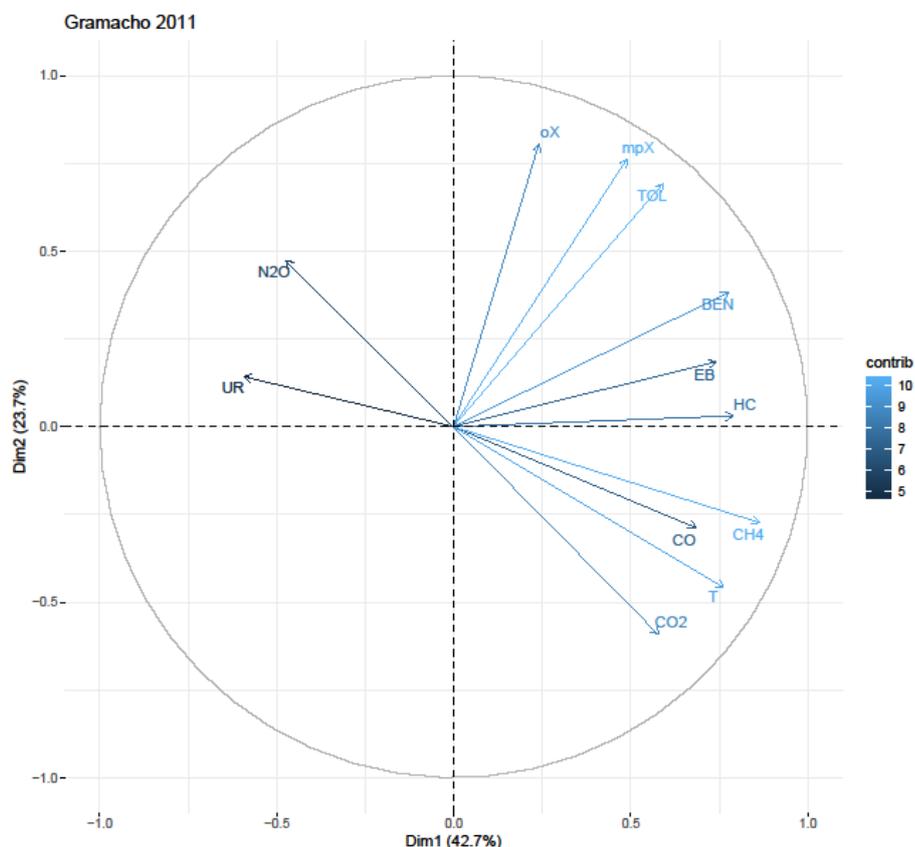
Figura 57. Matriz de correlação de Pearson dos resultados do ACG.



A Figura 58 demonstra uma análise dos componentes principais (PCA) do ACG. Nesta PCA foram consideradas as duas dimensões principais, totalizando 66,4 % do conjunto original dos dados, um conjunto mais coeso que facilita algumas interpretações, diferentemente da matriz de correlação de Pearson que considera todo o conjunto de dados.

Verifica-se que há um agrupamento dos compostos CO, CO₂ e CH₄, com a Temperatura, e que, separadamente destes, se agrupam os COV (BTEX e HC), podendo caracterizar diferentes fontes de emissão destes dois grupos. Destaca-se ainda a forte relação da temperatura com os GEE e CO, evidenciando que a formação destes gases está atrelada a temperatura do ar. O N₂O se destacou dos demais gases, contudo demonstrou estar relacionado à umidade relativa do ar.

Figura 58. Análise dos componentes principais do ACG.



3.2.1. Resultados de dispersão

O cálculo da dispersão dos poluentes para o ACG foi realizado separadamente para GEE (CO_2 , CH_4 e N_2O), COV (BTEX e HC com mais de 5 carbonos) e CO.

As emissões de GEE foram ajustadas para reproduzir os dados experimentais de concentração calculados para 1, 8 e 24h. Para os três períodos citados foram verificadas as concentrações em relação às emissões máximas ($1477,1 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), média ($1278,2 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e mínimas ($1146,5 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) de GEE.

Uma vez que foram considerados 324 pontos receptores na região ao redor do ACG, foram obtidas diferentes concentrações para todas as condições estipuladas em cada destes pontos. A maior concentração foi encontrada no platô superior do aterro, com um valor de $862,3 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 1h, considerando a taxa de emissão máxima de GEE. Em contrapartida, a menor concentração foi encontrada em um ponto no bairro de Coelho Neto, no município do Rio de

Janeiro, a cerca de 12,8 km de distância em linha reta do aterro, com um valor de $0,9 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 24h, considerando a taxa de emissão mínima.

Ao comparar as médias obtidas para os diferentes períodos avaliados verificou-se que a média das concentrações obtidas para 1h é 70% maior que a média obtida para 8 h e 89 % maior que a obtida para 24 h. A média de concentração para 8 h é 62 % maior que a obtida para 24 h.

Devido a grande quantidade de dados gerados com a modelagem os resultados obtidos foram avaliados, também, nos pontos receptores apontados no Quadro 36 e na Figura 59. Estes pontos foram escolhidos devido à existência de aglomerados urbanos relevantes, tal como a Ilha do Governador, Vigário Geral, centro de Duque de Caxias, Saracuruna, Campos Eliseos e Jardim Gramacho.

Quadro 32. Dados dos pontos receptores do ACG.

Ponto	Referência	Coordenada UTM (m)		Distância do aterro (m)
		Este	Norte	
Receptor 1	Magé	685496,5	7485616,5	7,46
Receptor 2	Ilha do Governador	685496,5	7476616,5	9,45
Receptor 3	Aeroporto Galeão	682496,5	7476616,5	7,64
Receptor 4	Vigário Geral	676496,5	7476616,5	8,49
Receptor 5	Centro de Duque de Caxias	671496,5	7480616,5	7,8
Receptor 6	Jardim Gramacho	676496,5	7482616,5	2,44
Receptor 7	Vila Rosario - Caixas	672496,5	7485616,5	6,9
Receptor 8	Saracuruna	677496,5	7490616,5	8,15
Receptor 9	Campos Eliseos	678496,5	7484616,5	3,39

No Quadro 37 podem ser observados os resultados obtidos nos receptores para todas as condições estabelecidas e nas Figura 60 podem ser observadas as plumas de dispersão referentes à emissão média no período de 8 h. As demais plumas de dispersão são apresentadas no Apêndice VII.

Quadro 33. Resultados de dispersão para emissão máxima, média e mínima de GEE no ACG.

Ponto	Período	Poluente	Conc. (mg m^{-3})	Poluente	Conc. (mg m^{-3})	Poluente	Conc. (mg m^{-3})
Receptor 1	1h	GEE -Máx	59,6	GEE -Med	52,6	GEE - Min	45,5
Receptor 2	1h	GEE -Máx	48,6	GEE -Med	42,9	GEE - Min	37,2
Receptor 3	1h	GEE -Máx	47,5	GEE - Med	41,9	GEE - Min	36,3
Receptor 4	1h	GEE -Máx	25,5	GEE - Med	22,5	GEE - Min	19,5
Receptor 5	1h	GEE -Máx	42,4	GEE - Med	37,4	GEE - Min	32,4
Receptor 6	1h	GEE -Máx	125,2	GEE - Med	110,5	GEE - Min	95,7
Receptor 7	1h	GEE -Máx	53,1	GEE - Med	46,9	GEE - Min	40,6
Receptor 8	1h	GEE -Máx	38,7	GEE - Med	34,2	GEE - Min	29,6
Receptor 9	1h	GEE -Máx	216,2	GEE - Med	190,7	GEE - Min	165,3
	Máximo		216,2	Máximo	190,7	Máximo	165,3
	Média		73,0	Média	64,4	Média	55,8

Ponto	Período	Poluente	Conc. (mg m ⁻³)	Poluente	Conc. (mg m ⁻³)	Poluente	Conc. (mg m ⁻³)
Mínimo			25,5	Mínimo	22,5	Mínimo	19,5
Receptor 1	8h	GEE - Máx	11,1	GEE - Med	9,8	GEE - Min	8,5
Receptor 2	8h	GEE - Máx	11,4	GEE - Med	10,1	GEE - Min	8,8
Receptor 3	8h	GEE - Máx	14,7	GEE - Med	13,0	GEE - Min	11,2
Receptor 4	8h	GEE - Máx	10,4	GEE - Med	9,2	GEE - Min	8,0
Receptor 5	8h	GEE - Máx	13,9	GEE - Med	12,3	GEE - Min	10,6
Receptor 6	8h	GEE - Máx	40,8	GEE - Med	36,0	GEE - Min	31,2
Receptor 7	8h	GEE - Máx	16,1	GEE - Med	14,2	GEE - Min	12,3
Receptor 8	8h	GEE - Máx	10,5	GEE - Med	9,3	GEE - Min	8,0
Receptor 9	8h	GEE - Máx	67,9	GEE - Med	59,9	GEE - Min	51,9
Máximo			67,9	Máximo	59,9	Máximo	51,9
Média			21,9	Média	19,3	Média	16,7
Mínimo			10,4	Mínimo	9,2	Mínimo	8,0
Receptor 1	24h	GEE - Máx	4,7	GEE - Med	4,1	GEE - Min	3,6
Receptor 2	24h	GEE - Máx	4,6	GEE - Med	4,0	GEE - Min	3,5
Receptor 3	24h	GEE - Máx	7,3	GEE - Med	6,4	GEE - Min	5,6
Receptor 4	24h	GEE - Máx	3,5	GEE - Med	3,1	GEE - Min	2,7
Receptor 5	24h	GEE - Máx	4,9	GEE - Med	4,3	GEE - Min	3,7
Receptor 6	24h	GEE - Máx	16,8	GEE - Med	14,9	GEE - Min	12,9
Receptor 7	24h	GEE - Máx	5,5	GEE - Med	4,9	GEE - Min	4,2
Receptor 8	24h	GEE - Máx	3,8	GEE - Med	3,4	GEE - Min	2,9
Receptor 9	24h	GEE - Máx	24,3	GEE - Med	21,4	GEE - Min	18,6
Máximo			24,3	Máximo	21,4	Máximo	18,6
Média			8,4	Média	7,4	Média	6,4
Mínimo			3,5	Mínimo	3,1	Mínimo	2,7

Verifica-se no Quadro 37 que as concentrações médias, utilizando a emissão máxima de 1477 g m⁻² dia⁻¹ de GEE para modelagem, foram de 73 mg m⁻³ para o período de 1 h, de 21,9 mg m⁻³ para o período de 8 h e 8,4 mg m⁻³ para o período de 24 h.

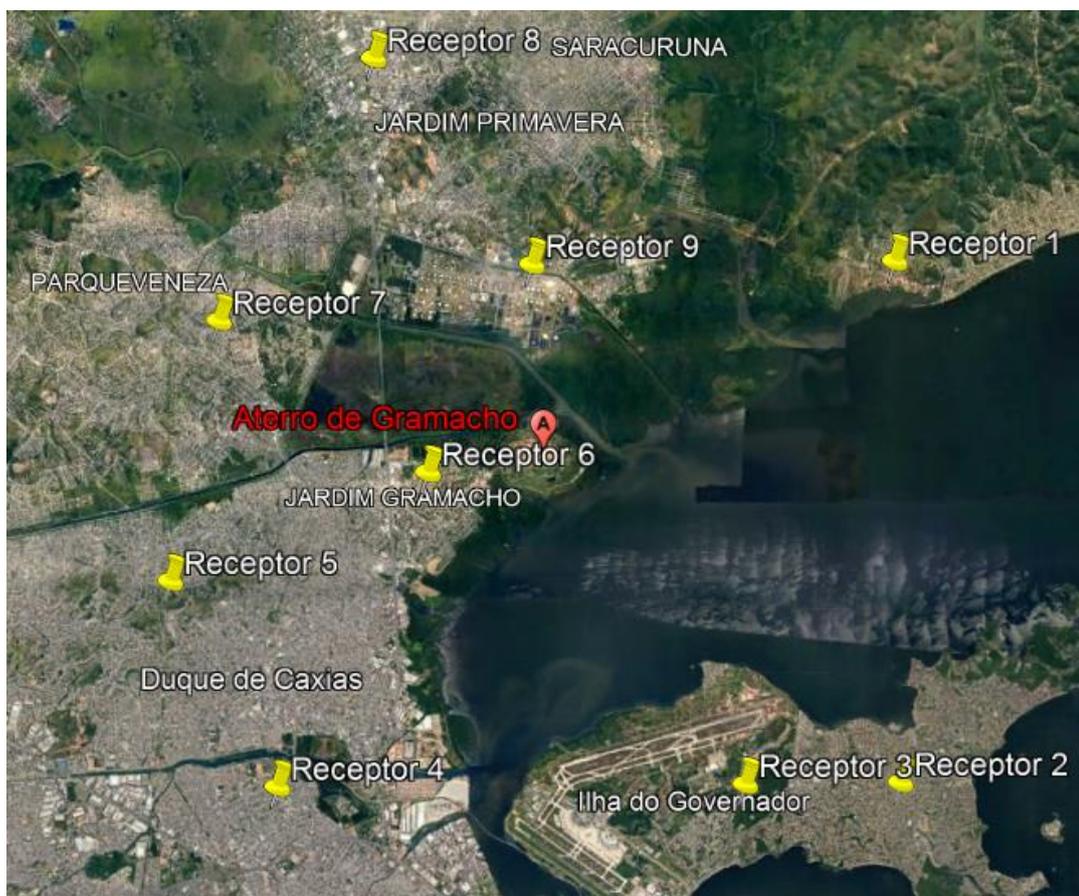
Para a emissão média de 1278 g m⁻² dia⁻¹ de GEE, as concentrações médias foram de 64,4 mg m⁻³ para o período de 1h, de 19,3 mg m⁻³ para o período de 8 h e de 7,4 mg m⁻³ para o período de 24 h.

A emissão mínima de 1146 g m⁻² dia⁻¹ de GEE, apresentou concentrações médias de 55,8 mg m⁻³ para o período de 1h, de 16,7 mg m⁻³ para o período de 8 h e de 6,4 mg m⁻³ para o período de 24h.

Os resultados mostram que quanto maior o tempo de exposição e menor a taxa de emissão utilizada na modelagem menor é a concentração encontrada.

Ao avaliar as concentrações em relação aos pontos receptores verifica-se que o ponto 9, localizado em Campos Elíseos (3,39 km de distância ao norte do ACG) apresentou as maiores concentrações para todas as condições estabelecidas. Seguido do ponto 6, localizado em Jardim Gramacho (2,44 km de distância a Sudoeste do ACG).

Figura 59. Localização dos receptores em relação ao ACG.

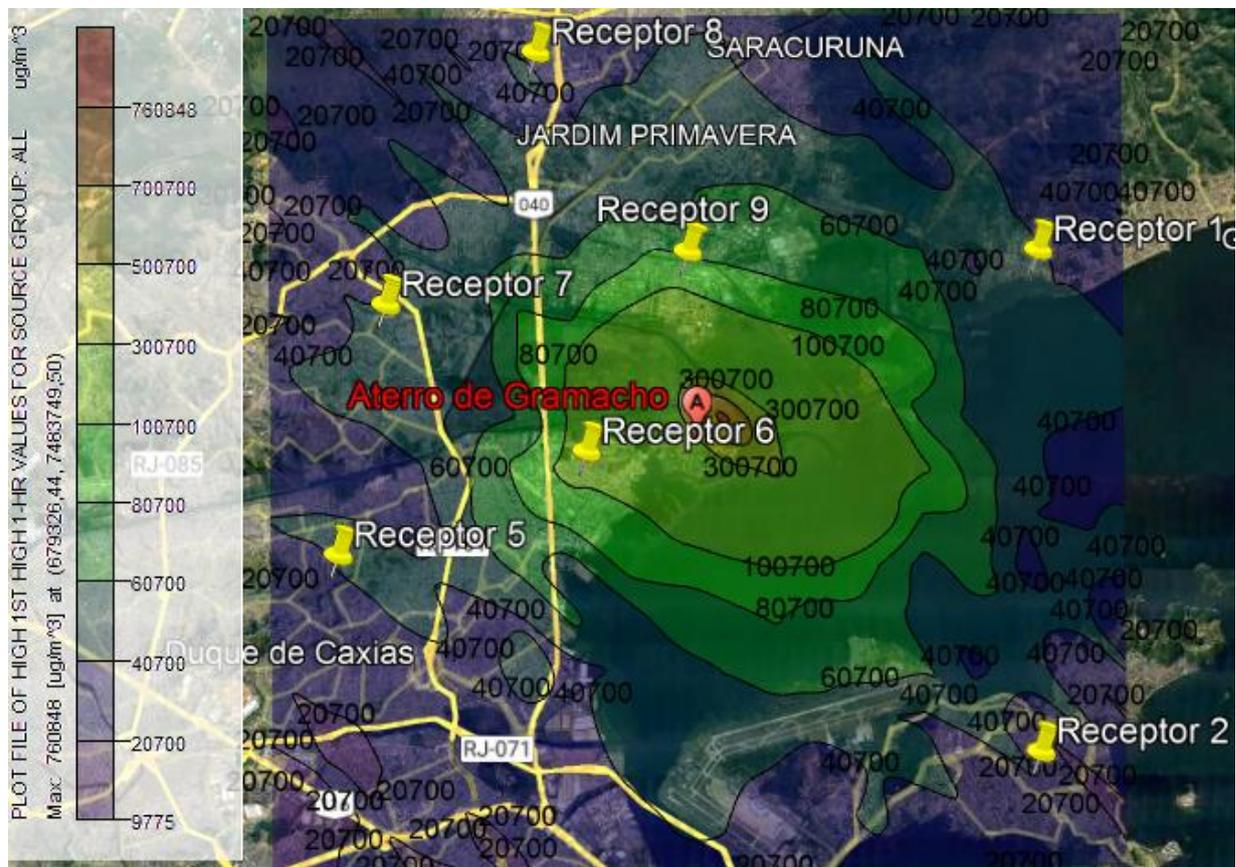


O ponto receptor 4, na comunidade da Maré, localizado a 8,5 km de distância em linha reta, Sudoeste do ACG, é o ponto que apresentou as menores concentrações para todas as condições estabelecidas.

Para fins de comparação, da mesma forma que foi feito para o ASS, as concentrações de GEE foram analisadas em relação ao relatório do IPCC, uma vez que não há legislação que determine limites de concentração no ar para os GEE. Segundo o IPCC de 2014 a média de concentração de CO₂ no planeta é de 703 mg m⁻³, de CH₄ é de 1,3 mg m⁻³ e de N₂O é de 0,4 mg m⁻³, totalizando uma concentração de 704,7 mg m⁻³.

Com exceção do ponto localizado no platô superior do ACG, todas as concentrações encontradas para todas as condições de GEE no ACG estão abaixo do valor médio estimado pelo IPCC de 2014. Para este ponto a condição de emissão máxima no período de 1 h apresentou concentração de 862 mg m⁻³ e a condição de emissão média no período de 1 h apresentou concentração de 760,8 mg m⁻³. As demais condições não ultrapassaram a média do IPCC.

Figura 60. Concentrações obtidas na pluma de dispersão para o período de 8 h e taxa de emissão média de GEE para o ACG.



A fim de comparar as concentrações obtidas através da modelagem, foram analisados dados de monitoramento da qualidade do ar de uma estação do INEA. Esta estação é a Automática de Campos Elíseos localizada ao Norte do aterro, e Ilha do Governador localizada a Sudeste.

Tendo em vista que um dos poluentes analisados na estação é o CH₄ foi feita uma modelagem considerando apenas a emissão deste poluente para as mesmas condições estabelecidas para o GEE. Tal como pode ser observado no Quadro 38. A Figura 61 apresenta a pluma de dispersão referentes à emissão média de CH₄ no período de 8h.

Quadro 34. Resultados de dispersão para emissões máxima, média e mínima de CH₄ no ACG.

Ponto	Período	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)
Receptor 1	1h	CH ₄ -Máx	19,6	CH ₄ - Med	17,2	CH ₄ - Min	15,8
Receptor 2	1h	CH ₄ -Máx	16,0	CH ₄ - Med	14,0	CH ₄ - Min	12,9
Receptor 3	1h	CH ₄ -Máx	15,6	CH ₄ - Med	13,7	CH ₄ - Min	12,6
Receptor 4	1h	CH ₄ -Máx	8,4	CH ₄ - Med	7,3	CH ₄ - Min	6,7
Receptor 5	1h	CH ₄ -Máx	14,0	CH ₄ - Med	12,2	CH ₄ - Min	11,2

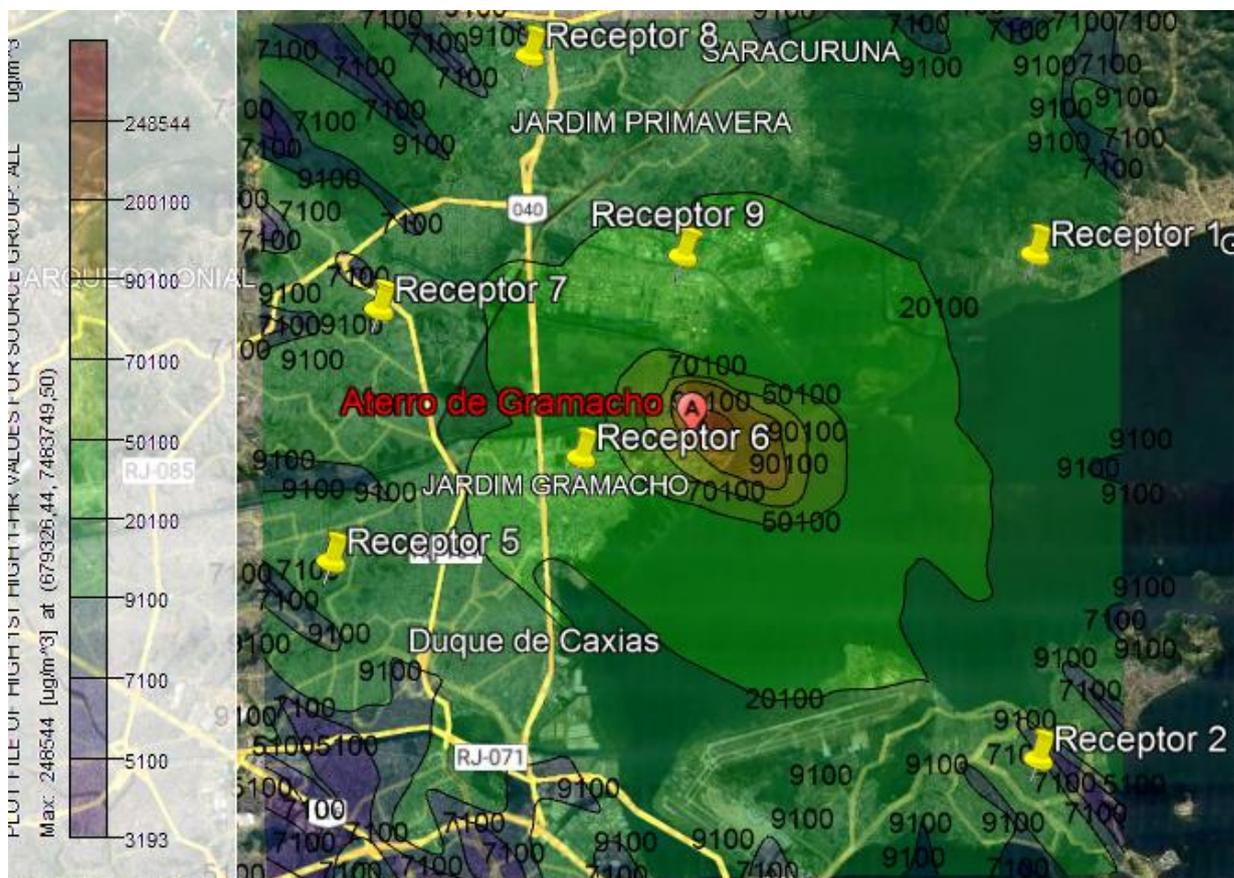
Ponto	Período	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)	Poluente	Conc. (mgm ⁻³)
Receptor 6	1h	CH ₄ -Máx	41,2	CH ₄ - Med	36,1	CH ₄ - Min	33,1
Receptor 7	1h	CH ₄ -Máx	17,5	CH ₄ - Med	15,3	CH ₄ - Min	14,1
Receptor 8	1h	CH ₄ -Máx	12,8	CH ₄ - Med	11,2	CH ₄ - Min	10,3
Receptor 9	1h	CH ₄ -Máx	71,2	CH ₄ - Med	62,3	CH ₄ - Min	57,2
Máximo			71,2	Máximo	62,3	Máximo	57,2
Média			24,0	Média	21,0	Média	19,3
Mínimo			8,4	Mínimo	7,3	Mínimo	6,7
Receptor 1	8h	CH ₄ -Máx	3,6	CH ₄ - Med	3,2	CH ₄ - Min	2,9
Receptor 2	8h	CH ₄ -Máx	3,8	CH ₄ - Med	3,3	CH ₄ - Min	3,0
Receptor 3	8h	CH ₄ -Máx	4,8	CH ₄ - Med	4,2	CH ₄ - Min	3,9
Receptor 4	8h	CH ₄ -Máx	3,4	CH ₄ - Med	3,0	CH ₄ - Min	2,8
Receptor 5	8h	CH ₄ -Máx	4,6	CH ₄ - Med	4,0	CH ₄ - Min	3,7
Receptor 6	8h	CH ₄ -Máx	13,4	CH ₄ - Med	11,7	CH ₄ - Min	10,8
Receptor 7	8h	CH ₄ -Máx	5,3	CH ₄ - Med	4,6	CH ₄ - Min	4,3
Receptor 8	8h	CH ₄ -Máx	3,5	CH ₄ - Med	3,0	CH ₄ - Min	2,8
Receptor 9	8h	CH ₄ -Máx	22,4	CH ₄ - Med	19,6	CH ₄ - Min	18,0
Máximo			22,4	Máximo	19,6	Máximo	18,0
Média			7,2	Média	6,3	Média	5,8
Mínimo			3,4	Mínimo	3,0	Mínimo	2,8
Receptor 1	24h	CH ₄ -Máx	1,5	CH ₄ - Med	1,4	CH ₄ - Min	1,2
Receptor 2	24h	CH ₄ -Máx	1,5	CH ₄ - Med	1,3	CH ₄ - Min	1,2
Receptor 3	24h	CH ₄ -Máx	2,4	CH ₄ - Med	2,1	CH ₄ - Min	1,9
Receptor 4	24h	CH ₄ -Máx	1,2	CH ₄ - Med	1,0	CH ₄ - Min	0,9
Receptor 5	24h	CH ₄ -Máx	1,6	CH ₄ - Med	1,4	CH ₄ - Min	1,3
Receptor 6	24h	CH ₄ -Máx	5,6	CH ₄ - Med	4,9	CH ₄ - Min	4,5
Receptor 7	24h	CH ₄ -Máx	1,8	CH ₄ - Med	1,6	CH ₄ - Min	1,5
Receptor 8	24h	CH ₄ -Máx	1,3	CH ₄ - Med	1,1	CH ₄ - Min	1,0
Receptor 9	24h	CH ₄ -Máx	8,0	CH ₄ - Med	7,0	CH ₄ - Min	6,4
Máximo			8,0	Máximo	7,0	Máximo	6,4
Média			2,8	Média	2,4	Média	2,2
Mínimo			1,2	Mínimo	1,0	Mínimo	0,9

Verifica-se no Quadro 38 que as concentrações médias, utilizando a emissão máxima de 482 g m⁻² dia⁻¹ de CH₄, foram de 24 mg m⁻³ para o período de 1 h, de 7,2 mg m⁻³ para o período de 8 h e 2,8 mg m⁻³ para o período de 24 h.

Ao utilizar a emissão média de 421,3 g m⁻² dia⁻¹ de CH₄, as concentrações foram de 21 mg m⁻³ para o período de 1 h, de 6,3 mg m⁻³ para o período de 8 h e 2,4 mg m⁻³ para o período de 24 h.

Para a emissão mínima de 317,2 g m⁻² dia⁻¹ de CH₄, as concentrações médias obtidas foram de 19,3 mg m⁻³ para o período de 1 h, de 5,8 mg m⁻³ para o período de 8 h e 2,2 mg m⁻³ para o período de 24 h.

Figura 61. Concentrações obtidas na pluma de dispersão para o período de 8 h e taxa de emissão média de CH₄ para o ACG.



Observa-se que as concentrações obtidas para as condições de emissão máxima, média e mínima não apontam grandes variações.

A média de concentração de CH₄ medida na Estação de Campos Elíseos para o ano de 2011 foi de 1,36 mg m⁻³ e a concentração máxima foi de 13,5 mg m⁻³. Já para a Estação da Ilha do Governador a média foi de 1,5 mg m⁻³ e a concentração máxima foi de 12,7 mg m⁻³.

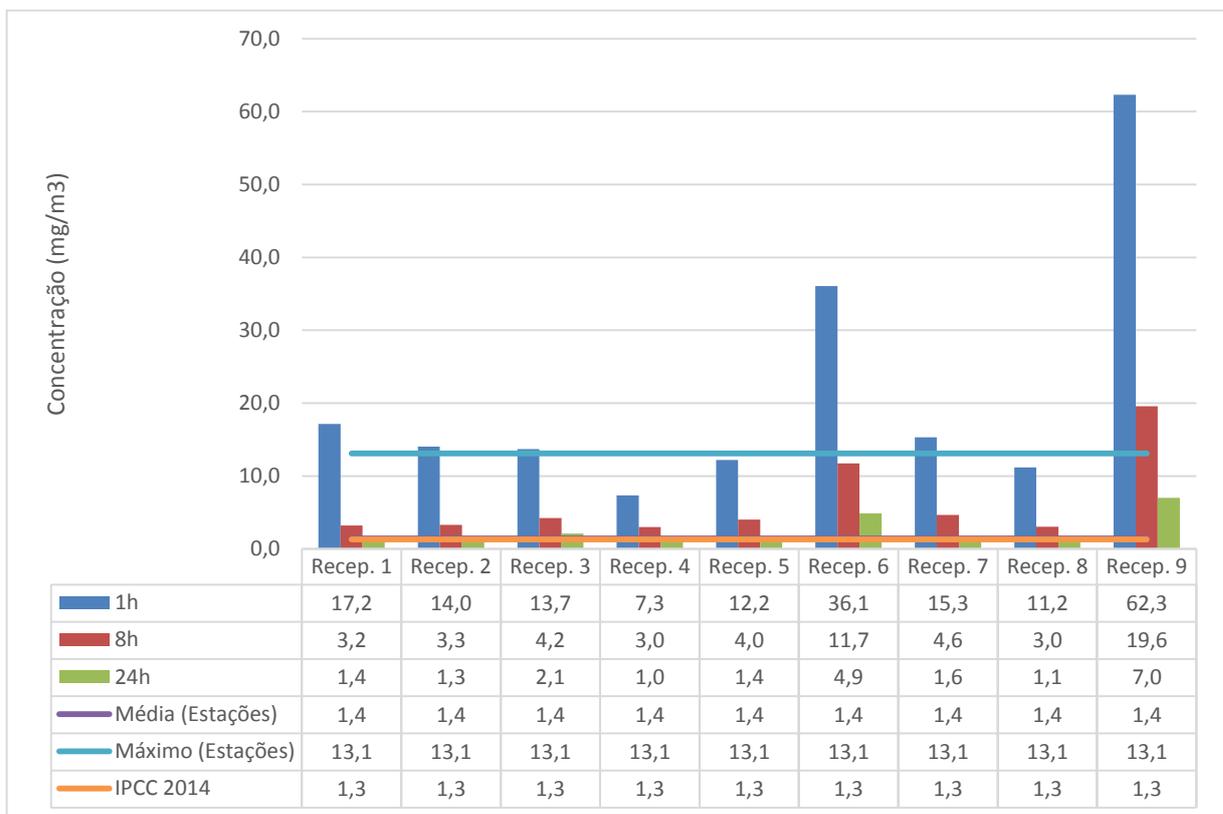
Como já foi citado anteriormente, a média apontada pelo monitoramento do IPCC é de 1,3 mg m⁻³, e está em conformidade com as médias das Estações de Campos Elíseos e Ilha do Governador para o ano de 2014.

Para tanto, foi realizada uma avaliação dos valores das Estações e do IPCC em relação as concentrações nos receptores 1 a 9. Como as médias das duas Estações foram próximas, foi feita uma média dos valores (1,43 mg m⁻³) para comparação com os resultados nos receptores. O mesmo foi realizado com as concentrações máximas das Estações, sendo obtido um valor igual a 13,1 mg

m^{-3} . A comparação entre as médias das Estações, a média do IPCC e os resultados de concentração considerando a emissão média do ACG pode ser visualizada na Figuras 62.

Devido à proximidade entre a média das estações e a média do IPCC, os valores se encontram sobrepostos na Figura 62.

Figura 62. Relação entre as concentrações de CH₄ para condição de emissão média e Estações de monitoramento de Campos Elíseos, Ilha do Governador e IPCC.



Verificou-se que para a condição de emissão média de CH₄ no período de 1h os receptores 4, 5 e 8 apresentaram concentração abaixo da média de máximos das estações ($13,1 \text{ mg m}^{-3}$), os demais receptores apresentaram concentrações acima da média das estações e acima do IPCC. Na condição de 8h todos os receptores apresentaram concentrações acima da média das estações e acima do IPCC. E na condição de 24 h os receptores 3, 6 e 9 tiveram concentrações acima da média das estações.

Ao avaliar o ponto receptor 9, próximo à Estação de Campos Elíseos, a concentração máxima obtida foi de $71,2 \text{ mg m}^{-3}$ (emissão máxima, 1h), a concentração média foi de $30,2$ e a concentração mínima foi de $6,4 \text{ mg m}^{-3}$ (emissão mínima, 24h).

A Estação da Ilha do Governador está localizada no Aeroporto do Galeão e por isso foi comparada ao ponto receptor 3. A concentração máxima obtida foi de $15,6 \text{ mg m}^{-3}$ (emissão máxima, 1h), a concentração média foi de $6,8$ e a concentração mínima foi de $1,9 \text{ mg m}^{-3}$ (emissão mínima, 24h).

Observa-se que as concentrações médias obtidas para os pontos receptores de Campos Elíseos e Galeão estão acima das médias das Estações de monitoramento dessas localidades.

As emissões de COV (HC entre C6 e C12 e BTEX) foram ajustadas para reproduzir os dados experimentais de concentração calculados para 1, 8 e 24h, tal como para foi atribuído para o estudo de GEE. Para os três períodos citados foram verificadas concentrações em relação às emissões máximas ($1385 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), média ($1062 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e mínimas ($764,2 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) de COV.

A maior concentração foi encontrada em um ponto localizado a Sudeste do aterro, no mar, a uma distância de $1,75 \text{ km}$ e com um de valor de $0,14 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 1h, considerando a taxa de emissão máxima de COV encontrada para o ACG.

Ao comparar as médias obtidas para os diferentes períodos avaliados verificou-se que a média das concentrações para 1h é 80% maior que a média obtida para 8h e 94% maior que a obtida para 24h. A média das concentrações para 8h é 69% maior que a obtida para 24h.

As concentrações obtidas nos receptores 1 a 9, para os casos de emissão máxima, média e mínima foram da ordem de 10^{-1} a 10^{-5} e por isso não serão apresentados todos os resultados. As plumas de dispersão são apresentadas no Apêndice VII.

As concentrações médias, utilizando a emissão máxima de $1385 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de COV, foram de $0,4 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 1h, de $0,2 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 8h e $0,6 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para o período de 24h.

Destaca-se que para emissão média, a maior concentração encontrada foi referente ao receptor 9 - Campos Elísios (distância de $3,39 \text{ km}$ do aterro) para período de 1h, tendo sido encontrado um valor igual $0,6 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ e a menor concentração encontrada foi referente ao receptor 2 - Ilha do Governador (distância de $9,45 \text{ km}$) para o período de 24h, com um valor de $1,5 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$.

Na condição de emissão mínima a maior concentração foi obtida para o receptor 9 para o período de 1 h como um valor de $0,5 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ e a menor concentração encontrada foi referente ao receptor 2 para o período de 24h, com um valor de $1,1 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$.

Os receptores 9 (Campos Eliseos - 3,39 km) e 6 (Jardim Gramacho - 2,44 km) são os mais próximos ao aterro e apresentam concentrações mais altas em relação aos demais pontos. Contudo, o receptor 3 (Galeão - 7,64 km) também está entre os pontos receptores analisados que apresentaram as maiores concentrações.

Assim como foi realizado para o CH₄, buscou-se comparar as concentrações obtidas com a modelagem com as medições das Estações de monitoramento de qualidade do ar de Campos Eliseos e Ilha do Governador.

Contudo, nas Estações são realizadas medições de hidrocarbonetos não metânicos e hidrocarbonetos, ambos em ppm, não havendo especificações sobre quais os hidrocarbonetos medidos (INEA, 2020) não sendo viável a comparação entre os resultados obtidos e os valores de monitoramento.

Por tanto, foi feito um levantamento, tal como o apresentado para o ASS, de resultados obtidos em outras pesquisas, sendo observado os seguintes valores:

- Corrêa (2003) realizou a especiação de COV de amostras coletadas na Av. Presidente Vargas e na Praça Saens Peña, apresentando uma concentração total de 847 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 123 $\mu\text{g m}^{-3}$, dos 62 compostos encontrados.
- Martins; Nunes; Corrêa (2015) coletaram amostras em diferentes locais no Rio de Janeiro. A média dos resultados obtidos para os 63 COV analisados foi de 275,9 $\mu\text{g m}^{-3}$.
- Silva (2016) realizou campanhas em diferentes bacias aéreas na RMRJ para determinação da concentração de COV no ar atmosférico. A bacia aérea caracterizada pelo autor, mais próxima ao ACG é a III, situada em Duque de Caxias e Praça Saens Peña. A média dos resultados obtidos para os 51 COV analisados foi de 210,1 $\mu\text{g m}^{-3}$.
- Carvalho (2016) coletou amostras de BTEX e Naftaleno na Barra da Tijuca, Deodoro e Maracanã. O somatório das médias para a Barra da Tijuca 3,7 $\mu\text{g m}^{-3}$. Em Deodoro foi de 4,1 $\mu\text{g m}^{-3}$ e no Maracanã foi de 13,79 $\mu\text{g m}^{-3}$.

No Quadro 39 pode ser observado um resumo dos destes resultados em comparação com a média obtida para emissão no período 8h.

Quadro 35. Comparação das concentrações de COV do ACG com outras pesquisas.

Referência	Média de Concentração de COV ($\mu\text{g m}^{-3}$)
ACG – emissão máxima	0,14
Corrêa (2003)	847/123
Martins; Nunes; Corrêa (2015)	275,90
Silva (2016)	210,09
Carvalho (2016)	3,7/4,1/13,79

Verifica-se que a média máxima de concentração obtida para o ACG é bem inferior as demais, contudo, destaca-se que os resultados obtidos nas referências avaliadas demonstram concentrações de COV no ar atmosférico e que as emissões dos aterros sanitários contribuem, juntamente outras fontes de emissão, como veiculares e industriais, para os valores observados, sendo assim, os aterros se tornam importantes contribuintes para o aumento da concentração destes poluentes no ar.

Quanto as emissões de CO foram ajustadas e analisadas da mesma maneira que os demais poluentes. Sendo assim as taxas de emissão máxima, média e mínima utilizadas foram de $8,2\text{g m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$, $5,5\text{ g m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$ e $2,8\text{ g m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$, respectivamente.

A maior concentração foi encontrada em um ponto localizado a Sudeste do aterro, no mar, a uma distância de 1,75 km, com um de valor de $0,8\text{ mg m}^{-3}$ para o período de 1h, considerando a taxa de emissão máxima de CO encontrada para o ACG. Em contrapartida, a menor concentração foi encontrada em um ponto no bairro de Coelho Neto, município do Rio de Janeiro, a cerca de 12,8 km de distância em linha reta do aterro, com um valor de $1,5 \times 10^{-3}\text{mg m}^{-3}$ para o período de 24h, considerando a taxa de emissão mínima.

Ao comparar as médias obtidas para os diferentes períodos avaliados verificou-se que a média de concentrações para 1h é 62% maior que a média obtida para 8h e 86% maior que a obtida para 24h. A média de concentrações para 8h é 62% maior que a obtida para 24h.

As concentrações obtidas nos receptores 1 a 9, para os casos de emissão máxima, média e mínima foram da ordem de 10^{-1} a 10^{-3} e por isso não serão apresentados todos os resultados. As plumas de dispersão são apresentadas no Apêndice VII.

As concentrações médias, utilizando a emissão máxima de $8,2\text{g m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$ de CO para modelagem, foram de $0,3\text{ mg m}^{-3}$ para o período de 1h, de $0,1\text{mg m}^{-3}$ para o período de 8h e $0,04\text{ mg m}^{-3}$ para o período de 24h.

Para a emissão média de $5,5\text{g m}^{-2}\text{ dia}^{-1}$ de CO, as concentrações médias foram de $0,2\text{ mg m}^{-3}$ para o período de 1h, de $0,07\text{ mg m}^{-3}$ para o período de 8h e de $0,02\text{ mg m}^{-3}$ para o período

de 24h. Para a emissão mínima de $2,8 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ de CO, as concentrações foram de $0,09 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 1h, de $0,03 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 8h e de $0,01 \text{ mg m}^{-3}$ para o período de 24h.

Os resultados mostram que quanto maior o tempo de exposição e menor a taxa de emissão utilizada na modelagem menor é a concentração encontrada.

Ao avaliar as concentrações devido aos pontos receptores analisados verifica-se que o receptor 9, localizado em Campos Elíseos, a 3,39 km de distância, apresentou as maiores concentrações para todas as condições estipuladas. Seguido do receptor 6 em Jardim Gramacho (2,44 km) e do receptor 3 em Campos Elíseos (3,39 km), ambos são bairros vizinhos ao aterro.

O ponto receptor 2 na Ilha do Governador apresentou (9,45 km) as menores concentrações para todas as condições estipuladas.

A fim de analisar a relação entre a direção para onde correm os ventos na região do ACG e as concentrações obtidas foi plotada a rosa dos ventos juntamente com a pluma de dispersão de CO para o período de 8h e utilizando a taxa de emissão média, tal como pode ser observado na Figura 63.

Observa-se que a pluma dispersa, principalmente, na direção predominante apontada pela rosa dos ventos, ou seja, para Sudeste. Verifica-se com isso, que mesmo nas regiões mais distantes do aterro, localizadas na direção predominante de vento, apresentam maiores concentrações.

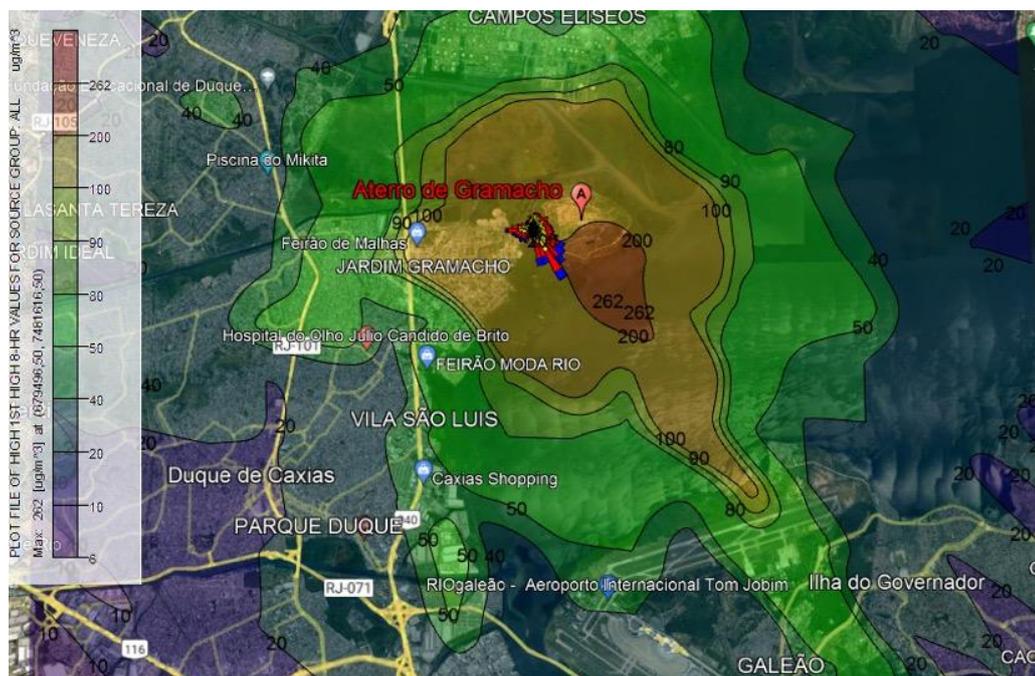
Grande parte das regiões vizinhas ao ACG caracteriza-se por áreas urbanas com grande concentração populacional, contudo a região a Sudeste do aterro é rodeada pelo mar, além da Ilha do Governador. Nesta há grande densidade populacional, com 211.018 habitantes.

O bairro de Jardim Gramacho está situado nas vizinhanças do aterro e conta com grande densidade populacional, sendo fortemente afetado pelas emissões encontradas. Além disso, o Aeroporto Galeão está a Sudeste do aterro, esta direção é predominante de ventos, influenciando diretamente na dispersão da pluma. Esta tendência foi observada para os GEE, COV e CO.

A fim de comparar as concentrações de CO obtidas, verificou-se que dentre dos poluentes analisados, o CO é o único que consta em resolução (CONAMA 491, 2018), que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, sendo o limite de concentração de CO igual a 9 ppm para o período de 8 h. Este valor equivale a $10,3 \text{ mg m}^{-3}$.

Todas as concentrações encontradas para todas as condições estipuladas estão abaixo do limite de concentração de CO estipulado pela CONAMA 491 (2018).

Figura 63. Representação da pluma de dispersão de CO e da rosa dos ventos no ACG.

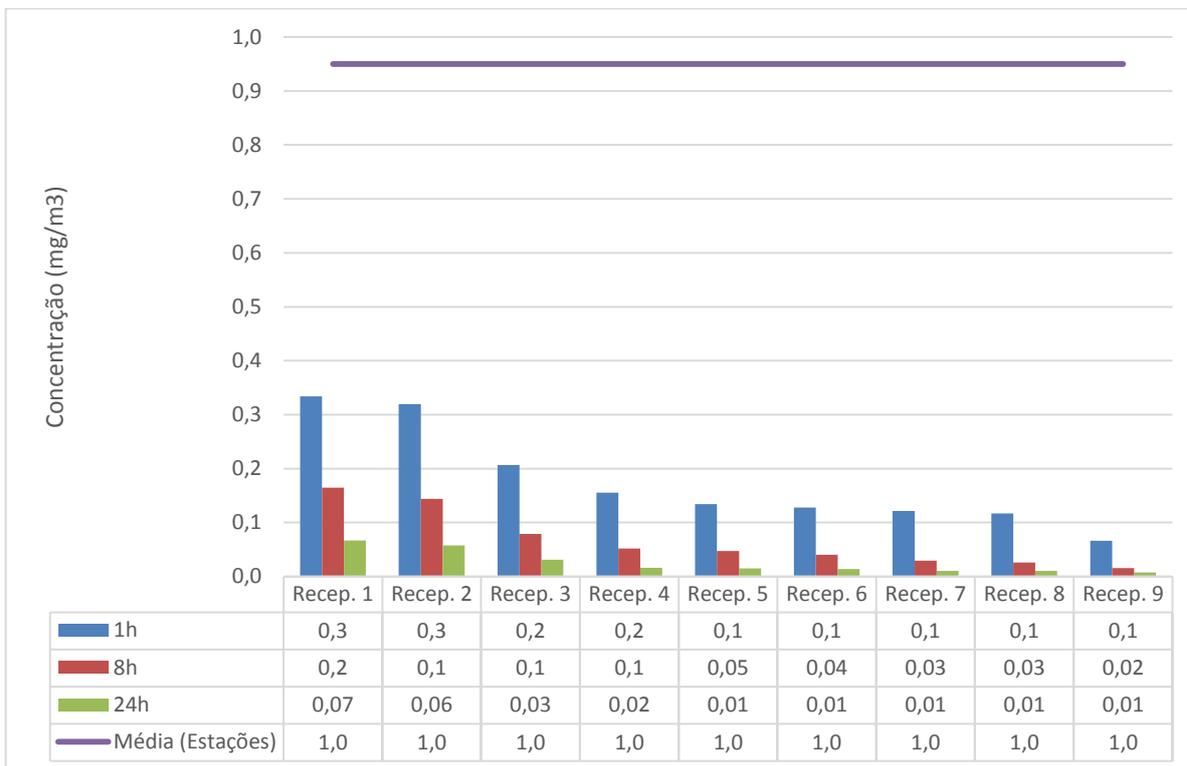


A fim de comparar as concentrações obtidas através da modelagem foram analisados dados de monitoramento da qualidade do ar de uma estação do INEA. As utilizadas foram a Automática de Campos Elíseos localizada ao Norte do aterro, e Ilha do Governador localizada a Sudeste.

A média de concentração de CO medida na Estação de Campos Elíseos para o ano de 2011 foi de $0,8 \text{ mg m}^{-3}$ e a concentração máxima foi de $12,7 \text{ mg m}^{-3}$. Para Estação da Ilha do Governador a média foi $1,1 \text{ mg m}^{-3}$ e a concentração máxima foi de $4,2 \text{ mg m}^{-3}$.

Para tanto, foi realizada uma avaliação dos valores das Estações em relação as concentrações nos receptores 1 a 9. Como as médias das duas Estações foram próximas, foi feita uma média dos valores (1 mg m^{-3}) para comparação com os resultados nos receptores. A comparação entre a média das Estações e os resultados de concentração considerando a emissão média do ACG pode ser visualizada na Figura 64.

Figura 64. Relação entre as concentrações de CO para condição de emissão média e Estações de monitoramento de Campos Elíseos e Ilha do Governador.



Observa-se que todas as concentrações de CO obtidas com a modelagem ficaram abaixo a média das Estações de Campos Elíseos e Ilha do Governador.

Vale ressaltar que no Relatório de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro de 2018 (INEA, 2020) foi observado que nos resultados de monitoramento de CO para concentração média de 8 horas nenhuma estação do Rio de Janeiro apresentou ultrapassagem ao padrão de $10,3 \text{ mg m}^{-3}$ para o ano de 2018. O relatório cita ainda que a estação de Campos Elíseos apresentou uma concentração igual ao padrão, e associou o valor a emissões de origem veicular, e à influência das fontes emissoras dessa região, principalmente as ligadas ao Polo Petroquímico de Campos Elíseos. O relatório não considera as emissões relacionadas ao ACG.

Contudo, através das concentrações obtidas através da modelagem de CO para o ACG observa-se que esta é uma fonte fixa contribuinte para o aumento da concentração de CO no ar atmosférico.

3.3. Comparação entre aterros

Uma das comparações primordiais a serem feitas entre o ASS e o ACG é referente as características de cada um deles.

Assim como já foi demonstrado no capítulo de caracterização dos aterros, o ASS foi projetado e planejado, antes de sua implantação foi realizado um estudo de impacto ambiental e a atividade passou por análise técnica de licenciamento ambiental. Com isso, as estruturas de engenharia para mitigação dos impactos ambientais foram implantadas desde a fundação.

Além disso, o ASS recebe apenas resíduos sólidos urbanos, tendo sido destinada, no ano de 2019, uma média de 9.000 toneladas de RSU por mês, e por isso foi enquadrado no porte Excepcional VIII.

Já o ACG está situado as margens da Baía de Guanabara, em área de mangue, e apesar de haver projeto para sua implantação, iniciou suas atividades como um lixão. Apenas após cerca de 20 anos de operação como um lixão foram implantadas técnicas a fim de amenizar os impactos provocados, por isso passou a ser classificado como um aterro controlado.

Devido ao seu histórico não houve registros oficiais das quantidades de resíduos destinadas ao ACG. Contudo, a partir de outras pesquisas foi verificado um quantitativo que variou entre 6.256 e 15.000 toneladas de RSU por mês, e por isso foi enquadrado entre os portes Excepcional V a IX. Além disso, o ACG recebeu 120 toneladas de resíduos industriais por dia, dentre solventes, tintas, lodo de estações de tratamento esgoto industrial, soda cáustica, resina, organofosforados de fabricação de inseticidas. No Quadro 40 pode ser visualizado o resumo das características dos aterros.

Quadro 36. Resumo das características do ASS e do ACG.

Características	ASS	ACG
Estudo de impacto ambiental	Sim	Não
Estruturas de engenharia (drenagem e tratamento de gases e lixiviado etc.)	Desde a fundação	Após 20 anos de operação
RSU (t mês ⁻¹)	9.000	6.256 e 15.000
Resíduos industriais (t dia ⁻¹)	Não recebe	120
Porte	Excepcional VIII	Excepcional V a IX

As características citadas no Quadro 40 podem influenciar diretamente na geração e emissão de biogás. A existência de resíduos industriais influencia, por exemplo, no aumento da geração de gases tóxicos. Com relação as estruturas de engenharia, a existência de estruturas de

drenagem e tratamento de gases é determinante para a mitigação da emissão de biogás para a atmosfera.

Outra propriedade estrutural que influencia na geração e emissão de gases é a qualidade da camada de cobertura. A camada de cobertura da área em que foram realizadas as coletas de amostras de gás do ASS é classificada como intermediária e convencional (monolítica). O solo foi caracterizado segundo o Sistema Unificado de Classificado dos Solos (SUCS), como areia siltosa (SM). Para o ACG não foi feita caracterização do solo no local em que foram coletas as amostras de gás. O solo encontrava-se misturado como entulhos, ferros, peças de madeira, plásticos e borrachas, tal como foi demonstrado no capítulo de caracterização do ACG. Fato que evidência a inexistência de métodos normatizados para implantação desta camada de cobertura.

Sabe-se da importância de avaliar as características do solo onde está sendo realizada a coleta de amostras de gás de aterros. Contudo, como não foi possível coletar amostras do ACG foram avaliadas as características do solo de outros 2 pontos do aterro (P1 e P2), que foram amostradas por outro autor no ano de 2007. Nestes pontos os solos foram classificados segundo o Sistema Unificado de Classificado dos Solos (SUCS), como areia argilosa plástica (P1) e como areia siltosa (P2).

O resumo das características de cada um dos solos avaliados pode ser observado no Quadro 41.

Quadro 37. Resumo das características de solo do ASS e do ACG.

Parâmetros	ASS	ACG – P1	ACG – P2
Granulometria			
Argila (%)	10	27	0
Silte (%)	30	39	30
Areia Fina (%)	14	9	40
Areia Média (%)	30	18	14
Areia Grossa (%)	16	7	8
Pedregulho (%)	0,0	0,0	8
Limites de Atterberg			
Limite de Liquidez (%)	56,5	54,5	-
Limite de Plasticidade (%)	34,4	20,8	-
Índice de Plasticidade (%)	22,1	33,7	-
Massa específica dos grãos (kNm^{-3})	27,5	36,78	24,10
Coefficiente de permeabilidade à água (m s^{-1})	$4,84 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-9}$	$9,1 \times 10^{-8}$
Grau de compactação (%)	81		

Como pode ser observado nos resultados apresentados, o solo do ponto P1 do ACG demonstrou o maior percentual de argila em sua composição, seguido do solo do ASS. O P2 não

possuía argila em sua composição. Os solos do ponto P2 e do ASS foram classificados com areia siltosa e o solo P1 foi classificado como areia argilosa plástica.

O solo P1 apresentou o menor coeficiente de permeabilidade à água, seguido do solo do ponto P2 e o maior coeficiente encontrado foi no solo do ASS. Quanto a massa específica dos grãos, o solo do P1 apresentou o maior valor, seguido do solo do ASS e do solo do ponto P2.

O solo P1 apresentou o maior percentual de argila e menor permeabilidade à água dentre os solos avaliados.

Não foi feito ensaio para avaliar o grau de compactação dos solos de P1 e P2 em campo no ACG e grau de compactação em campo do solo de ASS foi de 81,5 %. Não foram feitos ensaios para verificação da permeabilidade ao ar em campo em nenhum dos solos (ASS e ACG).

Sabe-se que para otimização da eficiência do solo utilizado como camada de cobertura de aterros é importante verificar a granulometria, já que solos com maior percentual de argila possuem maior potencial de compactação e por consequência menor permeabilidade à água e ao ar (Marinho *et al.*, 2001).

Contudo o grau de compactação do solo vai depender das técnicas aplicadas em campo para que seja alcançada a maior compactação possível em relação ao tipo de solo aplicado. Sendo assim, solos com granulometrias favoráveis à compactação podem apresentar um grau de compactação inferior a solos com mais granulares caso não sejam aplicadas técnicas eficazes. Por isso, a presença de argila e a aplicação de técnicas favoráveis à compactação são de fundamental importância para minimizar a emissão de gases para a atmosfera.

Tal como cita Mariano (2008), o grau de compactação abaixo de 90% sugere que durante sua execução não ocorreu o controle de compactação e que em geral este solo foi compactado no ramo seco da curva de compactação, aumentando sua permeabilidade ao gás.

Guedes (2007) concluiu que os efeitos da contração, má compactação, uso de solos porosos e menor espessura da cobertura, podem transformar a camada de cobertura num sistema ineficiente quanto à retenção de gases.

Posto isso, ao avaliar dos dados de caracterização dos solos de ASS, P1- ACG e P2 - ACG, conclui-se que o P1 – ACG possui características, tais como, maior percentual de argilas e menor coeficiente de permeabilidade à água, que são fundamentais para que um bom grau de compactação seja atingido, contudo, vale destacar, que não foi verificado o grau de compactação em campo.

Outro fator a ser ressaltado são as técnicas de engenharia aplicadas em ACG, uma vez que o aterro foi classificado como controlado e que foram reconhecidas áreas em que a camada de cobertura se encontrava misturada a resíduos. Este fato, leva a crer que a compactação da camada de cobertura do ACG não tenha sido realizada sob condições ótimas.

Após avaliação das características dos aterros, pode-se analisar as emissões encontradas em cada um deles. O resumo destes resultados pode ser observado no Quadro 42.

Quadro 38. Resumo das emissões dos ASS e ACG.

Compostos	ASS	ACG
GEE – máximo ($\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	727,7	1477,1
GEE – média ($\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	122,3	1278,2
GEE – mínimo ($\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	0,4	1146,5
CH ₄ – máximo ($\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	574,6	482,0
CH ₄ – média ($\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	77,6	421,3
CH ₄ – mínimo ($\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	0,1	387,2
COV – máximo ($\mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	6366,3	1385,2
COV – média ($\mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	797,9	1062,0
COV – mínimo ($\mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	9,8	764,2

As taxas de emissão máximas, médias e mínimas de GEE foram maiores no ACG. Contudo, ao avaliar as taxas de emissão de CH₄, o máximo obtido no ASS foi 1,2 vezes maior que a do ACG.

Deve ser ressaltado que as coletas de amostras no ASS foram realizadas em alguns pontos que continham fissuras na camada de cobertura e a taxa máxima de emissão de CH₄ do ASS é atribuída a maior fissura encontrada no solo. Já as coletas realizadas no ACG não apresentavam fissuras no momento da coleta.

Verifica-se com isso, uma diferença de $574,5 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ de CH₄ entre a taxa de emissão máxima e mínima para o ASS e uma diferença de $94,8 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ de CH₄ para o ACG.

Para as taxas médias de CH₄ a emissão no ACG foi 5,4 vezes maior do que a encontrada no ASS.

Os COV foram coletados nas mesmas condições citadas anteriormente, sendo assim a taxa máxima de emissão no ASS foi bem maior (4,6 vezes) que a encontrada no ACG. Mesmo tendo sido analisados mais compostos no ACG (BTEX e HC) que no ASS (BTEX).

Contudo, ao avaliar as médias de emissão de COV dos dois aterros, a média do ACG é 1,33 vezes maior que a do ASS.

Verifica-se assim que as taxas de emissão médias de todos os gases analisados foram maiores no ACG.

Destaca-se ainda que no ACG foram analisadas taxas de emissão de CO e N₂O, não tendo sido analisados estes gases para o ASS.

Através da avaliação da caracterização dos aterros foram apresentados fatores, tais como recebimento de resíduos industriais, inexistência de estruturas de drenagem de gases desde a fundação e características do solo de cobertura, que podem afetar a geração e emissão dos gases.

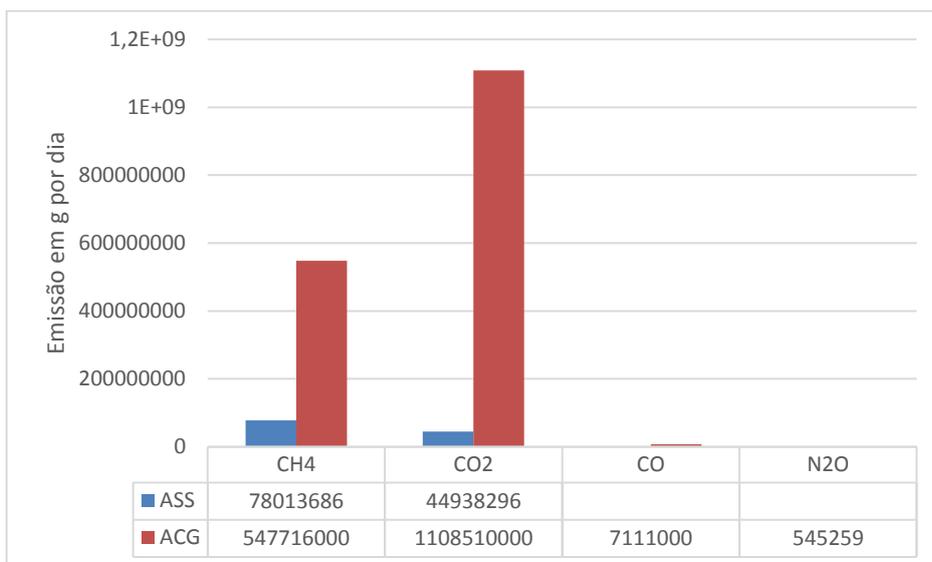
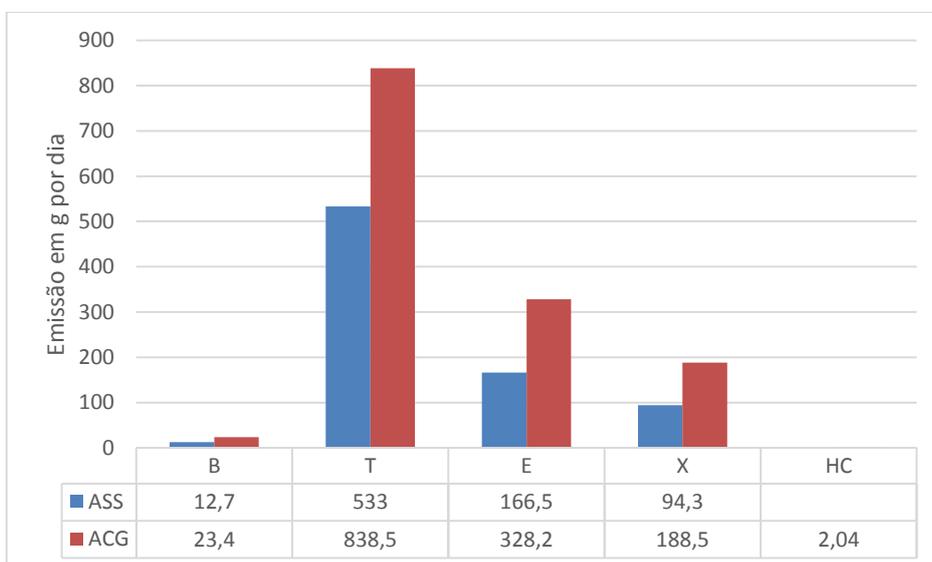
A grande quantidade de resíduos industriais influencia diretamente na composição do biogás gerado devido à decomposição dos resíduos e por isso espera-se que a geração de COV seja, de fato, maior no ACG do que no ASS.

Quanto à emissão de biogás, o ASS foi construído desde sua fundação com estruturas de drenagem de gás e lixiviado, que foram implantadas de forma projetada para drená-los de maneira eficaz e efetiva. Contudo, no ACG estas estruturas de drenagem foram implantadas posteriormente ao início da operação, perfurando o resíduo, com dificuldades de execução e em profundidades variadas. Esta diferença pode influenciar diretamente na emissão fugitiva de biogás.

No primeiro, o biogás e o lixiviado não ficam acumulados dentro do aterro, porém, no segundo há um acúmulo destes produtos, fazendo com que haja grande diferença de pressão do interior do aterro em relação à atmosfera, aumentando a movimentação por advecção. Além disso, com menos estruturas que facilitem a saída do gás (drenos), este tende a migrar pela camada de cobertura.

Por fim, verificou-se que a camada de cobertura do ASS apresentou maior coeficiente de permeabilidade à água que os solos caracterizados no ACG. Contudo, sabe-se que os solos avaliados no ACG não foram coletados na mesma área e época em que foram coletadas as amostras de gás, e a própria variação de características observadas entre os pontos P1 e P2 demonstram a possibilidade de haver grande variabilidade da condição da camada de cobertura no ACG, impossibilitando determinar que estas sejam as características gerais de toda a camada de cobertura do aterro.

A fim de verificar a emissão em massa de todos os poluentes estudados referente a área total final de cada um dos aterros foram consideradas as áreas de 1.005.331 m² para o ASS e 1.300.000 m² para o ACG. Os valores obtidos podem ser visualizados nas Figuras 65 e 66.

Figura 65. Emissão em massa de GEE e CO.**Figura 66. Emissão em massa de BTEX e HC.**

Verifica-se que as emissões em massa diárias de todos os poluentes foram maiores no ACG. Destaca-se que não foram estudadas emissões de CO, N₂O e HC no ASS.

Buscando comparar as obtidas no ASS e no ACG foram avaliados resultados de outras pesquisas, tal como pode ser observado no Quadro 43. Para isso, levou-se em consideração o tipo de sistema de extração de gás utilizado nos aterros e se os estudos realizaram medição de emissões em fissuras.

Quadro 39. Taxas de emissão de metano dos ASS, ACG e outros trabalhos.

Referências	Emissão média (g m ⁻² dia ⁻¹)	Extração de gás	Emissão através de fissuras
Aterro de Seropédica	77,6	Passivo	Sim
Aterro de Gramacho	421,3	Ativo	Não
Guedes (2007) – Gramacho (RJ)	11,4	Passivo	Sim
Di Bella; Di Trapani e Viviani (2011)	35,4	Ativo	Sim
Park <i>et al.</i> (2013)	37,3	Passivo	Sim
Oliveira <i>et al.</i> (2013) – Nova Iguaçu (RJ)	13,7	Ativo	Não
Di Trapani; Di Bella e Viviani (2013)	25	Ativo	Sim
Abichou <i>et al.</i> (2006)	53,6	Sem extração	Sim
Maciel (2003)	192,9	Sem extração	Não
Asadi <i>et al.</i> (2013)	2,59	Ativo	Sim
Mariano (2008) – Aguazinha (PE)	81,9	Passivo	Não
Maciel e Jucá (2011) – Muribeca(PE)	161,5	Passivo	-
Silva, Freitas e Candiani (2013)– Bandeirantes (SP)	21,31	Passivo	-
Silva, Freitas e Candiani (2013) – Caieiras (SP)	22,67 a 310,60	Passivo	Sim
Damasceno (2018)–Aratu (BA)	37,71 ^a 59,66 ^b	Ativo	Sim
Gonzalez-Valencia <i>et al.</i> (2021)	4,5	Ativo	Sim
Randazzo <i>et al.</i> (2020) - Madri	350	Ativo e Passivo	-
Randazzo <i>et al.</i> (2020) – Ilhas Canarias	132	Passivo	-

Legenda: ^aPeríodo seco/ ^bPeríodo chuvoso.

A média de emissão apresentada em Abichou *et al.* (2006) foi de 53,6 g m⁻²dia⁻¹, a qual é 30,9% menor que a obtida no ASS. Vale ressaltar que o local de estudo de Abichou *et al.* (2006) não possuía sistema de extração de gases. No trabalho de Asadi *et al.* (2013), o local de estudo possuía sistema de extração de gases e foram consideradas as emissões em fissuras, tendo apresentado média 30 vezes mais baixa do que a obtida no ASS, com valor de 2,59 g m⁻²dia⁻¹. Em Park *et al.* (2013), apesar de haver sistema passivo de extração de gases, a média de emissão de CH₄ foi 2 vezes menor do que o ASS, com valor de 37,3 g m⁻²dia⁻¹.

Estudo similar ao do ASS realizado em aterros na cidade de São Paulo (SILVA; FREITAS; CANDIANI, 2013) obteve valores de 21,31 g m⁻² dia⁻¹ para o aterro de Bandeirante (área depositada entre 2000 e 2007) e 22,67 g m⁻² dia⁻¹ (área depositada entre 2002 e 2004), 179,2 g m⁻²dia⁻¹ (área depositada entre 2005 e 2007) e 310,6 g m⁻²dia⁻¹ (área depositada entre 2008 e 2011) para o aterro de Caieiras, indicando que a emissão de CH₄ é mais pronunciada nas áreas mais recentes. Em Maciel e Jucá (2011), com sistema de extração passivo, obteve-se média de 161,5 g m⁻²dia⁻¹, sendo um pouco mais de 2 vezes maior do que a encontrada no ASS. Nos demais estudos, os quais possuíam sistemas de extração ativos, as médias de emissão foram menores.

Ao avaliar a média de CH₄ obtida no ACG, se observa que independente do sistema de extração de gases empregado, todas as médias de emissão descritas nos outros estudos foram

menores que a encontrada no ACG. As médias que mais se aproximam do valor médio de metano encontrado no ACG ($421,3 \text{ g m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) foi a do aterro de Caieras ($310,6 \text{ g m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e do aterro de Madri ($350 \text{ g m}^{-2}\text{dia}^{-1}$), ainda assim estas são 1,4 e 1,2 vezes menores, respectivamente.

A maior diferença de média de emissão de metano foi em relação a um aterro mexicano (GONZALEZ-VALENCIA *et al.* 2021), que apresentou um valor de $4,5 \text{ g m}^{-2}\text{dia}^{-1}$, que comparado ao ACG foi 93,6 vezes menor.

Em Guedes (2007) foi encontrada uma média de emissão de CH_4 no ACG muito inferior à média deste estudo, com uma diferença de 38 vezes. As amostras deste estudo foram coletadas 3 anos após aquele. Com a transcorrência deste lapso temporal é de se esperar que a geração de CH_4 pela decomposição dos resíduos sofresse um decaimento, contudo, devido às proporções do aterro, as amostras podem ter sido coletadas em áreas distantes, além disso, há a deterioração da camada de cobertura, fazendo com que haja um aumento da emissão através desta.

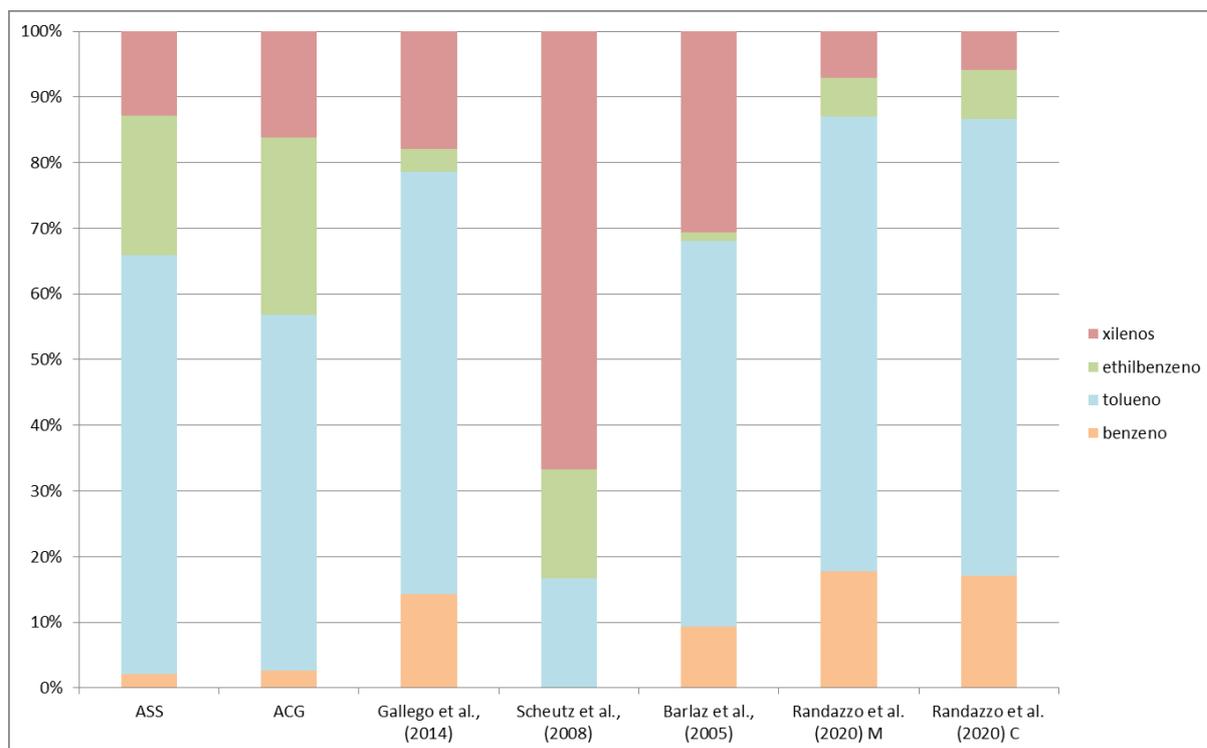
Em linhas gerais, o ASS apresentou uma média de emissão de CH_4 equivalente à dos outros aterros e o ACG apresentou uma média bem superior, sobretudo porque as amostras deste não foram coletadas em regiões com fissuras.

Para análise das emissões de BTEX dos ASS e ACG em relação a demais aterros foi calculada a relação entre os gases, utilizando como base o etilbenzeno (ZOU *et al.*, 2003, GALLEGO *et al.*, 2014 e DURMUSOGLU; FATIH e KARADEMIR, 2010). O etilbenzeno foi estipulado como base para que os resultados obtidos pudessem ser comparados com outros trabalhos realizados.

Assim a relação B:T:E:X encontrada foi de 0,1:3:1:0,6 em ASS, e de 0,1:2,6:1:0,6 em ACG. Estes resultados foram comparados com outros estudos de emissão de BTEX em aterros sanitários e industriais, assim como mostra a Figura 67.

Ao avaliar a relação de BTEX para ASS e ACG observa-se que foram muito próximos, havendo diferença apenas entre o tolueno, que foi maior em ASS. Em ambos o tolueno representou o maior percentual entre os BTEX.

Figura 67. Comparação da relação da emissão dos BTEX com outros estudos.



Legenda: *M – aterro em Madri; C – aterro nas Canárias.

Ao comparar os ASS e ACG em relação aos demais, observa-se que a relação entre os gases foram menores do que os encontrados para os aterros industriais de Gallego *et al.* (2014) (4:18:1:5) e Barlaz *et al.* (2005) (7:44:1:23). Em comparação com os resultados de Scheutz *et al.* (2008) (0:1:1:4) as emissões de benzeno e tolueno foram menores do que as encontradas em ASS e ACG e os valores de xilenos foram maiores em Scheutz *et al.* (2008).

Em Randazzo *et al.* (2020) foram estudados dois aterros, um em Madri e outro nas Ilhas Canárias. A relação entre os gases deste estudo foram maiores que os encontrados em ASS e ACG para o benzeno e o tolueno, e menores que para os isômeros do xileno. Sendo o inverso do observado em relação a Scheutz *et al.* (2008).

A análise estatística das emissões demonstrou que no ASS, dentre os GEE, o CH₄ apresentou a maior taxa de emissão e maior variação. E dentre os BTEX, o tolueno e o etilbenzeno apresentaram as maiores taxas de emissão e maior variação. No ACG o tolueno e o etilbenzeno também apresentaram as maiores taxas de emissão e maior variação e dentre os GEE o CO₂ a maior variação. As taxas de emissão de CO e N₂O apresentaram variações similares, e as emissões de HC não variaram tanto, quando comparadas com CO, CO₂ e N₂O.

A matriz de correlação do ASS demonstrou que as emissões de CO₂ e CH₄ estão fortemente correlacionadas, contudo não há correlação destes gases com todos os BTEX, indicando que possuem fontes diferentes e variáveis diferentes que influenciam na sua emissão para a atmosfera. As relações observadas entre os BTEX indicam uma possível origem comum destes compostos.

A matriz de correlação e a análise de componentes principais do ACG verificou-se um agrupamento dos compostos CO, CO₂ e CH₄, com a Temperatura, e que, separadamente destes se agrupam os COV (BTEX e HC), podendo caracterizar diferentes fontes de emissão destes dois grupos. Destaca-se ainda a forte relação da temperatura com os GEE e CO, evidenciando que a formação destes gases está atrelada a temperatura do ar.

O N₂O se destacou dos demais gases, contudo demonstrou estar relacionado à umidade relativa do ar. Para os demais gases quanto maior a umidade relativa do ar menor as taxas de emissão.

Além das emissões, os dados meteorológicos e topográficos são de grande importância para a modelagem da dispersão de plumas de poluentes atmosféricos. Para o ASS verificou-se que a média de intensidade de vento anual observada ficou entorno de 2,3 m s⁻¹ e calmarias de 9,2%, com predominância para as direções Norte, Sul e Sudoeste. Já para o ACG a média de intensidade de vento anual observada ficou entorno de 3,3 m s⁻¹ e calmarias de 7,1%, com predominância para a direção Sudeste.

Quanto a topografia das regiões ao redor dos aterros, o ASS é cercado em todas as direções por áreas planas que variam a altimetria entre 3 e 15m, com exceção das direções Norte e Nordeste, onde está situado um maciço montanhoso de altimetria entre 40 e 700 m.

A ocupação ao redor do ASS se caracteriza na sua grande maioria por áreas de pasto, contudo a Sudoeste do ASS encontra-se um aglomerado populacional chamado de Chaperó, este faz divisa com o aterro. Os centros urbanos estão a cerca de 8 km de distância (Itaguaí e Seropédica). Sendo assim, a região em que o ASS está localizado foi classificada com rural.

O ACG ocupa uma área classificada com urbana, rodeado por construções nas direções Noroeste, Oeste e Sudoeste. Ao Norte do aterro está situado o Polo Petroquímico de Campos Elíseos e a Baía de Guanabara de Sul a Nordeste. A variação de altimetria varia entre 0 e 70 m.

No Quadro 44 pode ser visualizado o resumo das informações meteorológicas e topográficas do ASS e do ACG.

Quadro 40. Resumos das características meteorológicas e topográficas do ASS e do ACG.

Características	ASS	ACG
Média de intensidade do vento (m s^{-1})	2,3	3,3
Calmaria (%)	9,2	7,1
Direções predominantes de vento	Norte, Sul e Sudoeste	Sudeste
Relevo	Planície e maciço montanhoso a Norte e Noroeste.	Mar e planície
Variação altimétrica (m)	3 a 700	0 a 70
Tipo de ocupação da região	Pasto e aglomerado populacional (Chaperó) a Sudoeste.	Diversos aglomerados populacionais, Polo Petroquímico ao Norte e Baía de Guanabara de Sul a Nordeste.
Classificação	Rural	Urbana

No que diz respeito aos resultados de dispersão das plumas de poluentes para o ASS e o ACG verifica-se que as maiores concentrações foram obtidas nas regiões ao redor dos aterros, principalmente nas direções predominantes para onde correm os ventos.

Para o ASS as direções predominantes apontadas pela rosa dos ventos são Norte, Sul e Sudoeste, sendo o bairro Chaperó o aglomerado populacional atingido pelas maiores concentrações de GEE e COV, pois este é vizinho ao aterro e as demais regiões são ocupadas por pastos. Os centros das cidades de Seropédica e de Itaguaí estão a cerca de 8 km de distância em linha reta do aterro.

No ACG a direção predominante de vento é para a direção Sudeste, o que faz com que as maiores concentrações encontradas para GEE, COV e CO tenham sido verificadas ao redor do aterro, ou seja, Campos Elíseos, Jardim Gramacho e mar, além de parte da Ilha do Governador, que embora seja situada a cerca de 8 km de distância em linha reta do aterro, fica localizada na direção predominante do vento.

No Quadro 45 podem ser observadas as maiores concentrações encontradas para ASS e ACG para todos os poluentes e as distâncias em linha reta em relação a estes.

Quadro 41. Maiores concentrações encontradas para ASS e ACG.

Poluente	Aterro	Concentração (mg m^{-3})	Distância (km)	Local
GEE	ASS	54,1	0,8	Pasto
COV	ASS	$0,5 \times 10^{-3}$	-	Dentro do aterro
GEE	ACG	862,3	1	Dentro do aterro
COV	ACG	$0,14 \times 10^{-3}$	1,75	Mar
CO	ACG	0,8	1,75	Mar

Os resultados demonstrados no Quadro 45 foram obtidos considerando um período de 1 h e taxas de emissão máximas para todos os poluentes.

Observa-se que a concentração de GEE para o ACG foi 16 vezes maior que a do ASS. Este resultado reflete a diferença entre as taxas de emissão encontradas entre os aterros. A taxa de GEE para o ACG foi 10 vezes maior que para ASS.

Contudo, para COV, apesar da taxa de emissão maior no ACG (2 vezes) a maior concentração foi verificada no ASS, sendo 3 vezes maior que a do ACG.

As concentrações de GEE para ambos os aterros foram comparadas com a média de concentração apontada pelo relatório do IPCC de 2014, uma vez que não há legislação que determine limites de concentração no ar para os GEE. Todas as concentrações encontradas para todas as condições estudadas ficaram abaixo do valor médio estimado pelo IPCC de 2014. Com exceção do ponto localizado no platô superior do ACG. Para este ponto a condição de emissão máxima no período de 1h apresentou concentração de 862 mg m^{-3} e a condição de emissão média no período de 1h apresentou concentração de $760,8 \text{ mg m}^{-3}$.

Foram verificadas as concentrações de CH_4 a fim de compará-las com resultados de monitoramento de estações no INEA. As concentrações do ASS foram comparadas com as concentrações da Estação de Piranema e a média das concentrações do ponto receptor próximo à esta estação foi menor.

Para o ACG foram verificados os resultados de monitoramento das estações Campos Elíseos e Ilha do Governador, contudo a média das concentrações relativas aos pontos receptores próximos estão acima das médias das Estações de monitoramento dessas localidades.

Para os COV não foi possível comparar os resultados obtidos com o monitoramento das estações, uma vez que as medições de hidrocarbonetos não metânicos e hidrocarbonetos são feitas em ppm, não havendo especificações sobre quais os hidrocarbonetos medidos.

Portanto, foi feito um levantamento de resultados obtidos em outras pesquisas e tanto as concentrações de BTEX do ASS quanto as concentrações de BTEX e HC do ACG ficaram bem abaixo das obtidas por diferentes autores em diferentes lugares do Rio de Janeiro.

As concentrações de CO para o ACG foram comparadas com o limite determinado pela CONAMA 491 (2018), tendo sido verificado que nenhuma das concentrações ultrapassa $10,3 \text{ mg m}^{-3}$ para a condição de 8h. Além disso, os resultados foram comparados com os dados das estações de Campos Elíseos e Ilha do Governador, apresentando valores acima do encontrado com a modelagem.

Vale ressaltar que no Relatório de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro de 2018 (INEA, 2020) foi observado que nos resultados de monitoramento de CO para concentração média de 8 horas nenhuma estação do Rio de Janeiro apresentou ultrapassagem ao padrão de $10,3 \text{ mg m}^{-3}$ para o ano de 2018. O relatório cita ainda que a estação de Campos Elíseos apresentou uma concentração igual ao padrão, e associou o valor a emissões de origem veicular, e à influência das fontes emissoras dessa região, principalmente as ligadas ao Polo Petroquímico de Campos Elíseos. O relatório não considera as emissões relacionadas ao ACG.

Contudo, a partir das concentrações obtidas através da emissão dos aterros, verifica-se que não só o CO, como todos os demais poluentes contribuem para o aumento das concentrações atmosféricas, demonstrando a importância em se considerar aterros sanitários, controlados e lixões como fontes fixas de emissão.

Para tanto, a fim de avaliar visualmente das plumas de dispersão do ASS e ACG, ambas foram plotadas em conjuntura na Figura 68; além disso foram marcados os aterros de Paracambi, Gericinó e Nova Iguaçu, também situados na RMRJ.

Figura 68. Aterros da RMRJ.



Os aterros de Paracambi e Nova Iguaçu encontram-se em operação nos dias de hoje e o aterro de Gericinó foi encerrado em 2014. Ao observar a localização destes e as plumas de

dispersão verifica-se a grande contribuição da disposição de resíduos em aterros sanitários para a geração de poluentes atmosféricos.

Assim como foi verificado ao longo da pesquisa a Resolução brasileira que aborda limites de concentração no ar atmosférico delimita concentrações apenas para o CO, dentre os poluentes analisados.

Quanto a emissão na fonte, não há legislação que determine um limite de emissão para nenhum poluente gasoso gerado com a degradação de resíduos em aterros sanitários. Este fato tem como consequência uma subestimativa do potencial poluidor destas atividades, sendo assim foi observado que estas fontes poluidoras não são consideradas em Relatórios de monitoramento da qualidade do ar atmosférico e inclusive em Estudos de Impacto Ambiental da própria atividade a ser licenciada.

Levando-se em consideração os resultados de emissão e de concentração no ar atmosférico obtidos nesta pesquisa e a quantidade de aterros sanitários em operação e encerrados na RMRJ, evidencia-se a grande necessidade de criação de leis que delimitem a emissão de poluentes gasosos nestes locais e que determinem o monitoramento destes durante o período em que haja produção de gases, sendo ainda necessário que se comprove, tal como é exigido para o lixiviado, pequena ou nenhuma emissão de gases, mesmo após o encerramento do aterro.

4. CONCLUSÕES

A pesquisa evidenciou a contribuição do aumento das concentrações no ar atmosférico devido aos poluentes emitidos através da camada de cobertura intermediária dos locais de disposição de resíduos de grande porte: o Aterro Sanitário de Seropédica (ASS) e Aterro Controlado de Gramacho (ACG).

Foram encontradas taxas de emissão relevantes em ambos os aterros quando comparados a outros aterros de diversos países, inclusive no Brasil.

As taxas de emissão máximas, médias e mínimas de GEE foram maiores no ACG. Contudo, ao avaliar as taxas de emissão de CH₄, o máximo obtido no ASS foi 1,2 vezes maior que a do ACG. A mesma condição foi verificada em relação aos COV. Sendo assim, a taxa máxima de emissão no ASS foi bem maior que a encontrada no ACG (4,6 vezes). Mesmo tendo sido analisados mais compostos no ACG (BTEX e HC) que no ASS (BTEX). Estes resultados são devido a influência direta da presença de fissuras na camada de cobertura do ASS no momento da coleta.

A taxa média de emissão de CH₄ no ACG foi 5,4 vezes maior do que a encontrada no ASS e a média de emissão de COV no ACG foi 1,33 vezes maior que a do ASS. Verifica-se assim que as taxas de emissão médias de todos os gases analisados foram maiores no ACG.

Quando comparado a outras pesquisas o resultado de emissão média de CH₄ do ACG se destacou, sendo bem maior, com uma variação entre 1,2 e 4,5 vezes maior que os demais.

Sendo assim, as características dos solos de cobertura intermediária dos dois aterros, na região onde foram coletadas amostras de gás demonstraram não agir de forma efetiva na contenção da emissão de gases gerados. Sendo que no ACG o solo se encontrava misturado a resíduos sólidos, como entulhos, ferros, peças de madeira, plásticos e borrachas. Já o solo do ASS foi ASS classificado com baixo percentual de argila (10%), alto coeficiente de permeabilidade à água ($4,84 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$) e baixo grau de compactação (81,5 %), o que demonstrou que a execução da camada de cobertura não ocorreu sob um controle de compactação, aumentando sua permeabilidade ao gás.

Vale ressaltar que existência de fissuras na camada de cobertura foi determinante para o aumento das emissões no ASS.

Sendo assim, as características do solo de cobertura tiveram influência direta na emissão de gases em ambos os aterros, sobretudo para o ACG que apresentou uma camada de cobertura completamente fora dos padrões de engenharia normatizados.

Os resultados de emissão demonstraram maior taxa de emissão e maior variação no ASS e no ACG foi o CO₂. E dentre os BTEX, o tolueno e o etilbenzeno apresentaram as maiores taxas de emissão e maior variação nos dois aterros.

As relações de emissão observadas entre os BTEX indicam uma origem comum destes compostos.

O agrupamento as emissões de CO, CO₂ e CH₄, com a Temperatura do ar ressalta a influência deste parâmetro meteorológico com a atividade microbiana e por consequência o aumento da emissão destes compostos.

Os resultados de avaliação da dispersão dos poluentes apontaram que o bairro Chaperó é o aglomerado populacional atingido pelas maiores concentrações de GEE e COV emitidos pelo ASS, pois este é vizinho ao aterro e está localizado na direção predominante do vento (Sudoeste).

No ACG a direção predominante de vento é para a direção Sudeste, o que faz com que as maiores concentrações encontradas para GEE, COV e CO tenham sido verificadas ao redor do aterro, ou seja, Campos Elíseos, Jardim Gramacho e mar, além de parte da Ilha do Governador, que embora seja situada a cerca de 8 km de distância em linha reta do aterro, fica localizada na direção predominante do vento.

As concentrações no ar obtidas a partir da modelagem de dispersão de pluma foram comparadas com diferentes estudos de qualidade do ar. Para todos os casos as concentrações dos poluentes estudados (GEE, BTEX, HC entre C6 e C12e CO) ficaram abaixo dos valores determinados pelo relatório do IPCC de 2014 e estações de monitoramento da qualidade do ar do INEA. Contudo, vale ressaltar que estes estudos avaliaram as concentrações dos poluentes no ar para diversas fontes de emissão e a modelagem matemática foi realizada considerando apenas as emissões dos aterros estudados.

Este fato comprovou que os poluentes emitidos nos aterros contribuem para o aumento das concentrações atmosféricas, demonstrando a importância em se considerar aterros sanitários, controlados e lixões como fontes fixas de emissão, sobretudo quando se observa o número de aterros de resíduos sólidos existentes na RMRJ.

Através da análise de Estudos de Impacto Ambiental para implantação de aterros sanitários verificou-se que as emissões devido fugitivas devido a degradação de resíduos são desconsideradas na avaliação de impacto ambiental. Além disso, verificou-se a ineficiência das leis e normas brasileiras referentes a limites de concentração de poluentes no ar atmosférico e a inexistência

destas em relação a emissão e monitoramento de poluentes gasosos de aterros sanitários devido a degradação de resíduos.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar uma análise, de maneira concomitante, da emissão de gases de os todos locais de disposição de resíduos, em operação ou encerrados, a fim de conhecer todas as fontes devido à degradação de resíduos;
- Modelar as emissões encontradas, a fim de verificar se as plumas dispersão se sobrepõem;
- Realizar a análise das concentrações de maneira local, a fim de constatar a veracidade dos resultados do modelo matemático.
- Realizar a modelagem da formação de poluentes secundários, em especial o ozônio.
- Calcular as emissões do transporte dos resíduos até o aterro.

REFERENCIAS

- ABICHOU, T.; CHANTON, J.; POWELSON, D.; FLEIGER, J.; ESCORIAZA, S. e LEI, Y. Methane flux and oxidation at two types of intermediate landfill covers. Waste management (New York, N.Y.), v. 26, n. 11, p. 1305–12, jan. 2006.
- AIRES, K. O.; MELO, M. C. DE; OLIVEIRA, R. DE.; MONTEIRO, V. E. D. Análise do processo biodegradativo em resíduos sólidos urbanos aterrados. Revista DAE. v. 223. p. 136-152. 2020.
- ÁLVARES JUNIOR, O. de M.; LACAVA, C. I. V.; FERNANDES, P. S. Emissões Atmosféricas. Brasília: SENAI/DNI, 373p. 2002.
- ALVIM, D. S. Estudo dos principais precursores de Ozônio na região metropolitana de São Paulo. 2013. 161 p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.
- AMORIM, J. C. de C. Emissões odoríferas provenientes da decomposição de resíduos sólidos urbanos (RSU em centrais de tratamento de resíduos (CTR) – estudo de caso: CTR Seropédica. 2013. 114 p. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) - POLI RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro. 2013.
- ASADI, M.; YUEN, S. T.; BOGNER, J.; CHEN, D. e LIGHTBODY, P. Methane emissions from a municipal waste landfill in south australia without gas recovery: comparison between field measurements and calmin modelled results. Proceedings Sardinia 2013. Anais. Cagliari, Italy: Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 8.419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. NBR 13.896: Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1997.
- BABILOTTE, A. Field comparison of methods for assessment of methane fugitive emissions from landfills. Waste Management, Environmental Research & Education Foundation, Veolia Environment Research Center, 2011.
- BARBOSA, M. C. Investigação geoambiental do depósito de argila sob o aterro de resíduos urbanos de Gramacho (RJ). 1994. 328 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do rio de Janeiro, 1994.

- BARLAZ, M. A.; GREEN, R. B.; CHANTON, J. P.; GOLDSMITH, C. D. e HATER, G.R. Evaluation of a Biologically Active Cover for Mitigation of Landfill Gas Emissions. *Environ. Sci. & Technol.*, v. 38, n. 18, p. 4891–4899, 2005.
- BOLOGNESI B.; MONTELATO, F. Estudo de Dispersão de Poluentes Atmosféricos Usando CFD. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- BORBA, P. F. de S. Avaliação da emissão de GEE e BTEX em aterro sanitário de grande porte. 2015. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- BORBA, P. F. de S.; MARTINS, E. M.; RITTER, E.; CORRÊA, S.M. BTEX Emissions from the Largest Landfill in Operation in Rio de Janeiro, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 98, n. 1, p. 0, 2017.
- BORBA, P. F. de S.; MARTINS, E. M.; CORRÊA, S.M.; RITTER, E. Greenhouse gases emissions from a landfill in Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 1, p. 101–111, 2018.
- BOGNER, J.; DIAZ, C.; ABDELRAFIE AHMED, M.; GAO, Q.; FAAIJ, A.; MARECKOVA, K.; HASHIMOTO, S.; ZHANG, T. e PIPATTI, R. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change of Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.
- ALLAN, R. P.; ARIAS, P. A.; BERGER, S.; CANADELL, J. G.; CASSOU C.; CHEN, D.; CHERCHI, A.; CONNORS, S. L.; COPPOLA, E.; CRUZ, F. A.; DIONGUE-NIANG, A.; ZICKFELD, K. *Contributing Climate Change 2021: Mitigation of Climate Change of Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021.
- BRASIL. Lei 6.938. Institui a Política Nacional de Meio Ambiente. 31 de agosto de 1981. Brasília: MMA, 1981.
- BRASIL. Lei 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos de 02 de agosto de 2010; decreto nº7.404, de 23 de dezembro de 2010. Brasília, 2010.
- BRASIL, Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Estabelece as definições, responsabilidades, critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Publicado no D.O.U. de 17 de fevereiro de 1986.
- BRASIL, Resolução CONAMA nº 404, de 11 de novembro de 2008. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Publicado no D.O.U. de 12 de novembro de 2008.

- BRASIL, Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispões sobre padrões de qualidade do ar. Publicado no D.O.U de 21 de novembro de 2018.
- BROSSEAU, J.; HEITZ, M. Trace gas compound emissions from municipal landfill sanitary sites. *Atmospheric Environment*, v. 28, n. 2, p. 285–293, jan. 1994.
- CARRIERO, G.; NERI, L.; FAMULARI, D.; DI LONARDO, S.; PISCITELLI, D.; MANCO, A.; ESPOSITO, A.; CHIRICO, A.; FACINI, O.; FINARDI, S.; TINARELLI, G.; PRANDI, R.; ZALDEI, A.; VAGNOLI, C.; TOSCANO, P.; MAGLIULO, V.; CICCIOI, P.; BARALDI, R. Composition and emission of VOC from biogas produced by illegally managed waste landfills in Giugliano (Campania, Italy) and potential impact on the local population. *Science of the Total Environment*, v. 640–641, p. 377–386, 2018.
- CARVALHO, J. B. B.; FORTES, J. D. N.; CORRÊA, S. M.; MARTINS, E. M. Impactos dos BTEX em áreas urbanas da cidade do Rio de Janeiro. *Química Nova*, v. 43, n. 7, p. 870-877, 2020.
- CHAKRABORTY, M.; SHARMA, C.; PANDEY, J.; SINGH, N. e GUPTA, P. K. Methane emission estimation from landfills in Delhi: A comparative assessment of different methodologies. *Atmospheric Environment*, v. 45, n. 39, p. 7135–7142, dez. 2011.
- CHEREMISINOFF, N.P., 2003. Handbook of solid waste management and waste minimization technologies. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/B978-1194_075067507-9/50005-X. Acesso em 15 de abril de 2020.
- CHIRIAC, R.; CARRE, J.; PERRODIN, Y.; FINE, L. e LETOFFE, J-M. Characterisation of VOCs emitted by open cells receiving municipal solid waste. *Journal of hazardous materials*, v. 149, n. 2, p. 249–63, 22 out. 2007.
- CHIRIAC, R.; CARRÉ, J.; PERRODIN, Y.; VAILLANT, H.; GASSO, S. e MIELE, P. Study of the dispersion of VOCs emitted by a municipal solid waste landfill. *Atmospheric Environment*, v. 43, n. 11, p. 1926–1931, abr. 2009.
- CHIRIAC, R.; DE ARAUJOS MORAIS, J.; CARRE, J.; BAYARD, R.; CHOVELON, J.M. e GOURDON, R. Study of the VOC emissions from a municipal solid waste storage pilot-scale cell: Comparison with biogases from municipal waste landfill site. *Waste management (New York, N.Y.)*, v. 31, n. 11, p. 2294–2301, nov. 2011.
- COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana. Relatório da comissão instituída através da ordem de serviço COMLURB “N” nº 16, 29 de setembro de 1994.
- CORRÊA, S. M.; DE SOUZA, C. V.; SODRÉ, E. D.; TEIXEIRA, J. R. Volatile organic compound emissions from a landfill, plume dispersion and the tropospheric ozone modeling. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, n. 3, p. 496–504, 2012.

- CUNHA, C. E. S. C. P. Proposta de Índice de Sustentabilidade Operacional de Aterros Sanitários (ISOAS). 2019. 259 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.
- DAMASCENO, L. A. G. Emissão fugitiva de metano através do sistema de cobertura de um aterro sanitário considerando a ocorrência de zonas com fissuramento. 2018. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2018.
- DAMASCENO, L. A. G.; CARVALHO, M. DE F.; MACHADO, S. L. Fugitive methane emissions through the cover system of a Brazilian landfill cell. *Journal of Environmental Engineering and Science*, v. 14, n. 3, p. 168–178, 2019.
- DEVER, S.; WELSH, M.; HUNSTONE, M. e STUETZ, R. Assessment of fugitive landfill gas emissions rates in Australia Proceedings Sardinia 2013. Anais. Cagliari, Italy: Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium, 2013.
- DI BELLA, G.; DI TRAPANI, D.; VIVIANI, G. Evaluation of methane emissions from Palermo municipal landfill: Comparison between field measurements and models. *Waste management (New York, N.Y.)*, v. 31, n. 8, p. 1820–6, ago. 2011.
- DI TRAPANI, D.; DI BELLA, G.; VIVIANI, G. Uncontrolled methane emissions from a MSW landfill surface: influence of landfill features and side slopes. *Waste management (New York, N.Y.)*, v. 33, n. 10, p. 2108–15, out. 2013.
- DUAN, Z.; SCHEUTZ, C.; KJELDSSEN, P. Trace gas emissions from municipal solid waste landfills: A review. *Waste Management*, v. 119, p. 39–62, 2021.
- DURMUSOGLU, E.; FATIH, T.; KARADEMIR, A. Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment. *Journal of hazardous materials*, v. 176, n. 1–3, p. 870–7, 15 abr. 2010.
- EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. EEA core set of indicators Guide. Disponível em: < https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2005_1>. Acesso em: 09 de abril de 2021.
- ELK, A. G. H. P. VAN. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos: Redução de emissões na disposição final. Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM). Ministério das Cidades. Ministério do Meio Ambiente. Rio de Janeiro. 2007.
- GALLEGO, E.; PERALES, J. F.; ROCA, F. J. e GUARDINO, X. Surface emission determination of volatile organic compounds (VOC) from a closed industrial waste landfill using a self-designed static flux chamber. *The Science of the total environment*, v. 470–471, p. 587–99, 1 fev. 2014.

- GÁMEZ, A. F. C.; MAROTO, J. M. R.; PÉREZ, I. V. Quantification of methane emissions in a Mediterranean landfill (Southern Spain). A combination of flux chambers and geostatistical methods. *Waste Management*, v. 87, p. 937–946, 15 mar. 2019.
- GANDOLLA, M., ACAIA, C. E FISCHER, C. Formazione, captazione e sfruttamentodibiogas in discariche, *SeminariodiAggiornamento, Collana Ambiente, Vol.18, C.I.P.A, Milão, Itália. 1997.*
- GEORGE, M.; GORE, S. J. M.; HEATH, T. G. e WILLIAMS, S. J. Potential gas production from landfilling of inorganic wastes. *Science Report: SC030144/SR. Science Science at the Environment Agency. 2007.*
- GOLLAPALLI, M.; KOTA, S. H. Methane emissions from a landfill in north-east India: Performance of various landfill gas emission models. *Environmental Pollution*, v. 234, p. 174–180, 2018.
- GOMEZ, A. M. M. Modelagem da dispersão de material particulado na atmosfera a partir de fontes estacionárias utilizando fluidodinâmica computacional. 2017. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.
- GONZALEZ-VALENCIA, R.; MAGANA-RODRIGUEZ, F.; MARTINEZ-CRUZ, K.; FOCHESTATTO, G. J.; THALASSO, F. Spatial and temporal distribution of methane emissions from a covered landfill equipped with a gas recollection system. *Waste Management*, v. 121, p. 373–382, 2021.
- GOUVELLO, C. DE. Estudo de baixo carbono para o Brasil. Brasília, DF, Brasil: Banco Mundial, ESMAP, 2010.
- GUEDES, V. P. Estudo do fluxo de gases através do solo de cobertura de aterro de resíduos sólidos urbanos. 2007. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- HEGDE, U.; CHANG, T.-C.; YANG, S.-S. Methane and carbon dioxide emissions from Shan-Chu-Ku landfill site in northern Taiwan. *Chemosphere*, v. 52, n. 8, p. 1275–1285, set. 2003.
- HOLMES, N. S.; MORAWSKA, L. A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available. *Atmospheric Environment*, v. 40, n. 30, p. 5902–5928, 2006.
- HUBER-HUMER, M. International research into landfill gas emissions and mitigation strategies-*IWWG working group “CLEAR”*. *Waste management (New York, N.Y.)*, v. 24, n. 4, p. 425–7, jan. 2004.
- HUSE, K. Estudo da influência da adição de bentonita em um solo areno-siltoso para uso como cobertura de aterros. 2007. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio De Janeiro, 2007.

- INEA. Relatório anual de qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro: ano base 2018. Instituto Estadual do Ambiente (RJ). – Rio de Janeiro, 2020.
- INEA. Dados de Qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro do ano de 2011 e 2014. Disponível em: <<http://200.20.53.25/qualiar/home/index>>, Acesso em: 01 de janeiro de 2022.
- JEONG, S. et al. Innovation of flux chamber network design for surface methane emission from landfills using spatial interpolation models. *Science of The Total Environment*, v. 688, p. 18–25, 20 out. 2019.
- JOAQUIM JR, G. O. Comparação de desempenho de sistemas de cobertura em relação à infiltração de água pluvial no aterro sanitário de Seropédica (RJ), durante a fase de operação. 2015. 206 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro 2015.
- JOAQUIM Jr., G. O.; RITTER, E.; CAMPOS, J. C.; FIGUEIREDO, G. C. Curva de retenção de água e condutividade hidráulica saturada em solos compactados para cobertura final de resíduos sólidos em aterros sanitários. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 12, n. 2, 2015.
- JUNCÁ, D. C. D. M. mais que sobras e sobrantes: trajetórias de sujeitos no lixo. 2004. 250 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca/FIOCRUZ. 2004.
- LAKHOUIT, A.; SCHIRMER, W. N.; JOHNSON, T. R.; CABANA, H. e CABRAL, A. Evaluation of the efficiency of an experimental biocover to reduce BTEX emissions from landfill biogas. *Chemosphere*, v. 97, p. 98–101, fev. 2014.
- KESARKAR, A.P.; DALVI, M.; VENKATRAM, A.; CIMORELLI, A.; KAGINALKAR, A.; OJHA, A. Coupling of WRF and AERMOD for Pollutant Dispersion Modeling. *Atmospheric Environment*. V. 41, p.1976-1988, mar. 2007.
- LIU, Y.; LU, W.; LI, D.; GUO, H.; CAICEDO, L.; WANG, C.; XU, S.; WANG, H. Estimation of volatile compounds emission rates from the working face of a large anaerobic landfill in China using a wind tunnel system. *Atmospheric Environment*, v. 111, p. 213–221, 2015.
- LIU, Y.; LU, W.; GUO, H.; MING, Z.; WANG, C.; XU, S. Aromatic compound emissions from municipal solid waste landfill: Emission factors and their impact on air pollution. *Atmospheric Environment*, v. 139, p. 205–213, 1 ago. 2016.
- LORA, E. E. S. *Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte*; Ed Interciência; 862p., 2002.

- LYRA, D. G. P. Modelo integrado de gestão da qualidade do ar da região metropolitana de Salvador. 2008. 255 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP 2008.
- MACIEL, F. J. Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE. 2003. 173 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Ciências em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- MARIANO, M. O. H. Avaliação da retenção de gases e camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos. 2008. 225 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, 2008.
- MARINHA DO BRASIL. Escala Beaufort. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/cprj/npcp>> Acesso em: 28 de dezembro de 2021.
- MARTÍ, V.; JUBANY, I.; PÉREZ, C.; RUBIO, X.; DE PABLO, J. e GIMÉNEZ, J. Human Health Risk Assessment of a landfill based on volatile organic compounds emission, immission and soil gas concentration measurements. *Applied Geochemistry*, jul. 2014.
- MARTINS, E. M.; FORTES, J. D. N.; LESSA, R. DE A. Modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos: avaliação de modelos de dispersão de poluentes emitidos por veículos. *Revista Internacional de Ciências*, v. 5, n. 1, p. 2–19, 2015.
- MARTINS, E. M.; NUNES, A. C.; CORRÊA, S. Understanding Ozone concentrations during weekdays and weekends in the urban area of the city of Rio de Janeiro. *J. Braz. Chem. Soc.*, São Paulo, v. 26, n. 10, p. 1967-1975, out. 2015.
- MARINHO, F.A.M., ANDRADE, M.C.J., e JUCÁ, J.F.T. Air and water permeability of a compacted soil used in a solid waste landfill in Recife, Brazil. In R.N. Yong and H.R. Thomas (Eds.), *Proceedings of the 3rd BGA Geoenvironmental Engineering Conference* (pp. 437-442). Edinburgh. 2011.
- MATACCHIERA, F.; MANES, C.; BEAVEN, R. P.; REES-WHITE, T. C.; BOANO, F.; MØNSTER, J.; SCHEUTZ, C. AERMOD as a Gaussian dispersion model for planning tracer gas dispersion tests for landfill methane emission quantification. *Waste Management*, 2018.
- MERONEY, R. N. CFD modeling of dense gas cloud dispersion over irregular terrain. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 104-106, p. 500-508. 2012.
- MILANI, C. R. S.; DE S. LOUREIRO, J. C. Cooperação internacional e desenvolvimento: análise da atuação de agências internacionais em Duque de Caxias (Rio de Janeiro). *Cadernos EBAPE.BR*, v. 11, n. 2, p. 234, 2013.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA (MTP) (2021) NR-15 Atividades e operações insalubres. < <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos->

especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-15-nr-15 >. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

- MORAES, M. R. Ferramenta para a previsão de vento e dispersão de poluentes na microescala atmosférica. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.
- MOREIRA, F. G. DOS S.; GUEDES, M. J. F.; MONTEIRO, V. E. D., MELO, M. C. DE. Emissões fugitivas de biogás em camada de cobertura de solo compactado em aterro sanitário. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*. v. 25. p. 247-258. 2020.
- MORENO, A. I.; ARNÁIZ, N.; FONT, R. e CARRATALÁ, A. Chemical characterization of emissions from a municipal solid waste treatment plant. *Waste Management*, ago. 2014.
- MOSHER, B. W.; CZEPIEL, P. C.; SHORTER, J.; ALLWINE, E.; HARRISS, R. C.; KOLB, C. e LAMB, B. Mitigation of methane emissions at landfill sites in New England, USA. *Energy Conversion and Management*, v. 37, n. 6–8, p. 1093–1098, jun. 1996.
- NIOSH (National Institute of Occupational and Safety Health). Manual of analytical methods, Hydrocarbons Aromatic: Method 1501, Fourth Edition, Mar. 2003.
- OLIVEIRA, A. C. E.; RITTER, E.; MANNARINO, C. e CONSTANTINO, P. Evaluation of biogas emission through the final cover layer of the waste treatment center of Nova Iguaçu and dump of Seropédica, Rio de Janeiro analyses. *Proceedings Sardinia 2013. Anais. Cagliari, Italy: Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium, 2013.*
- OLIVEIRA, A. C. E. Monitoramento e Avaliação de Emissões Fugitivas de Biogás na Camada de Cobertura Final da Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu e do Lixão de Seropédica, Rio de Janeiro. 2012. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- PARK, J. K.; KANG, J. Y.; KANG, J. H. e LEE, N. H. Method development for measurement of methane emissions from valley-type landfills. *Proceedings Sardinia 2013. Anais. Cagliari, Italy: Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium, 2013.*
- PEPPER, I. L.; GERBA, C. P.; BRUSSEAU, M. L. *Environmental and Pollution Science*. 2nd Edition - April 11, 2006.
- RCRA - Resource Conservation and Recovery Act. Part 258 – Criteria for municipal solid waste landfills. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=c94567294dff611654af7a3944a91d69&mc=true&r=PART&n=pt40.27.258#se40.27.258_11>. Acesso em: 09 de abril de 2021.

- RANDAZZO, A. et al. Volatile organic compounds (VOCs) in solid waste landfill cover soil: Chemical and isotopic composition vs. degradation processes. *Science of the Total Environment*, v. 726, p. 138326, 2020.
- RIMA - SEROPÉDICA. Relatório de Impacto Ambiental do Aterro Sanitário de Seropédica, S. A. Paulista, Vereda, p. 60. Disponível em: <<https://ciclusambiental.com.br/responsabilidade-ambiental/>>. Acesso em: 03 de agosto de 2020.
- RITTER, E., MANNARINO, C.F., VAN ELK, A.G. e FERREIRA, J.A. Gestão de Resíduos Sólidos in *Engenharia e Meio Ambiente: Aspectos Construtivos e Práticos* (Santos, A.S.P. e Ohnshima Jr, A.A., orgs) LTC Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. Pgs 215 – 234, 2021.
- SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.
- SALAZAR, M. P. Estudo sobre a modelagem da dispersão atmosférica de gases densos decorrente de liberações acidentais em análise quantitativa de risco. 2016. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2016.
- SANTOS, T. F. L. DOS. Estudo experimental da camada de cobertura do aterro morro do céu, Niterói - RJ. 2009. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- SCHEUTZ, C.; BOGNER, J.; CHANTON, J. P.; BLAKE, D.; MORCET, M.; ARAN, C. e KJELDSEN, P. Atmospheric emissions and attenuation of non-methane organic compounds in cover soils at a French landfill. *Waste Management*, v. 28, n. 10, p. 1892–1908, 2008.
- SCHEUTZ, C.; PEDERSEN, R. B.; PETERSEN, P. H.; JØRGENSEN, J. H. B.; UCENDO, I. M. B.; MØNSTER, J. G.; SAMUELSSON, J. e KJELDSEN, P. Mitigation of methane emission from an old unlined landfill in Klintholm, Denmark using a passive biocover system. *Waste management (New York, N.Y.)*, v. 34, n. 7, p. 1179–90, jul. 2014.
- SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. *Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change*. Second edition. New York: John Wiley & Sons, 2006.
- SICILIANO, A. M. Estudo do impacto do complexo petroquímico COMPERJ na atmosfera. 2009. 133f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- SILVA, A. T. A. DA. Aspectos meteorológicos e balanço hídrico em um aterro de resíduos sólidos urbanos. 2008. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

- SILVA, C. M. Estudo dos compostos orgânicos voláteis precursores de ozônio para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. 2016. 233f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- SILVA, C. M.; CORRÊA, S. M.; ARBILLA, G. Determination of CO₂, CH₄ and N₂O: A Case Study for the City of Rio de Janeiro Using a New Sampling Method. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 27, 778. 2016.
- SILVA, F. M. DA. Biogás de lixo no aterro sanitário de Gramacho. 2015. 111 p. Projeto de Graduação/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- SILVA, T. N.; FREITAS, F. S. N. DE; CANDIANI, G. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 2, p. 95–104, 2013.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – Ano Base 2019. Brasília. Disponível em: <<http://snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>>. Acesso em 07 de abril de 2021.
- SOARES, E. L. DE S. F. Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. 2011. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 2011.
- SPOKAS, K. et al. SPOKAS, K.; BOGNER, J.; CHANTON, J. P.; MORCET, M.; ARAN, C.; GRAFF, C.; GOLVAN, Y. M.-L. e HEBE, I. Methane mass balance at three landfill sites: what is the efficiency of capture by gas collection systems? *Waste management (New York, N.Y.)*, v. 26, n. 5, p. 516–25. 2006.
- SPOKAS, K.; BOGNER, J.; CHANTON, J. A process-based inventory model for landfill CH₄ emissions inclusive of seasonal soil microclimate and CH₄ oxidation. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, v. 116, n. 4, 2011.
- STAUB, M. J.; MARCOLINA, G.; GOURC, J-P. e SIMONIN, R. An incremental model to assess the environmental impact of cap cover systems on MSW landfill emissions. *Geotextiles and Geomembranes*, v. 29, n. 3, p. 298–312, jun. 2011.
- TADANO, Y. D. S. Simulação da Dispersão dos Poluentes Atmosféricos para Aplicação em Análise de Impacto. 2012. 137 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. 2012.
- TALAEIKHOZANI, A.; NEMATZADEH, S.; ESKANDARI, Z.; ALEEBRAHIM D. A.; Rezania, S. Evaluation of emission inventory for the emitted pollutants from landfill of Borujerd and modeling of dispersion in the atmosphere. *Urban Climate*, v. 25, n. May 2018, p. 82–98, 2018.

- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H. e VIGIL, S. Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues. IRWIN/ McGRAWHILL, USA, 1993.
- TEIXEIRA, J. R. Impacto do Aterro Controlado Morro do Céu na Atmosfera. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós Graduação em Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.
- U.S.EPA. - United States Environmental Protection Agency, 2019. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2017. Washington. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>. Acesso em: 07 de novembro de 2021.
- U.S. EPA. User’s Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET) Research Triangle Park, NC, Office of Air Quality.
- U.S. EPA. AERMOD Model Formulation and Evaluation. Epa-454/ R-18-003, 2018.
- UK EA. Investigation of the composition and emissions of trace components in landfill gas. Bristol: Environment Agency. 2002.
- VARELLA, C. A. A. Análise de Componentes Principais, Análise Multivariada Aplicada as Ciências Agrárias. Apostila da Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/multivariada%20aplicada%20as%20ciencias%20agrarias/Aulas/analise%20de%20componentes%20principais.pdf>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2022.
- VICENTINI, P. C. Uso de modelos de qualidade do ar para a avaliação do efeito do PROCONVE entre 2008 e 2020 na região metropolitana do Rio de Janeiro. 2011. 224 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- VIEIRA, A. M. Estudo de barreiras capilares como cobertura final de aterro de resíduos. 2005. 287 p. Tese (Doutorado em Engenharia Geotécnica) – Programa Pós-graduação em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- WOOD, J. A.; PORTER, M. L. Hazardous Pollutants in Class II Landfills. Japca, v. 37, n. 5, p. 609–615, maio 1987.
- ZOU, S. C.; LEE, S. C.; CHAN, C. Y.; HO, K. F.; WANG, X. M.; CHAN, L. Y. e ZHANG, Z. X. Characterization of ambient volatile organic compounds at a landfill site in Guangzhou, South China. Chemosphere, v. 51, n. 9, p. 1015–22, jun. 2003.

APÊNDICE I – SCRIPT DA LINGUAGEM R

```

# Carregando as bibliotecas necessárias
require(ggpubr)
require(factoextra)
require(FactoMineR)
require(corrplot)
require(openair)
require(ggplot2)
require(GGally)

# definindo o diretorio de trabalho
setwd("~/Library/Mobile
Documents/com~Apple~CloudDocs/Alunos/Doutorado/Priscila/Gramacho")

# fazendo a leitura dos dados
gramacho = read.csv(file = "Emissoes_Gramacho_2011.csv", header = TRUE, sep = ";", dec=",")

# definindo o formato do dia e hora
#gramacho$date = as.POSIXct(strptime(gramacho$Data, format = "%d/%m/%Y", tz = "GMT"))

# Apresentando o nome das variáveis
names(gramacho)

# Apresenta um resumo dos dados
summary(gramacho)

# Retirando a data
gramacho = gramacho[,2:13]

# Apresentando o box plot dos dados em 2x3
par(mfrow=c(2,3), mar=c(4,5,1,1))

# Boxplot somente dos BTEX
boxplot(gramacho[,8:12], ylab=expression("Åµg m"^-2 * "dia"^-1), col = "gray", cex.axis=1.5,
cex.lab=1.5)

# boxplot do CO2
boxplot(gramacho$CO2, ylab=expression("g m"^-2 * "dia"^-1), col = "lightblue", xlab = "",
cex.axis=1.5, cex.lab=1.5)
mtext(text = "CO2", side=1, line=0.5)

# boxplot do CH4
boxplot(gramacho$CH4, ylab=expression("g m"^-2 * "dia"^-1), col = "green", xlab = "",
cex.axis=1.5, cex.lab=1.5)
mtext(text = "CH4", side=1, line=0.5)

```

```

# boxplot do CO
boxplot(gramacho$CO, ylab=expression("g m-2 * dia-1"), col = "yellow", xlab = "",
cex.axis=1.5, cex.lab=1.5)
mtext(text = "CO", side = 1, line=0.5)

# boxplot do N2O
boxplot(gramacho$N2O, ylab=expression("mg m-2 * dia-1"), col = "pink", xlab = "",
cex.axis=1.5, cex.lab=1.5)
mtext(text = "N2O", side = 1, line=0.5)

# boxplot do HC
boxplot(gramacho$HC, ylab=expression("µg m-2 * dia-1"), col = "brown", xlab = "",
cex.axis=1.5, cex.lab=1.5)
mtext(text = "HC > C5", side = 1, line=0.5)

dev.off()

# Calculando a matriz de correlação
# usa-se todo o conjunto de dados
corPlot(gramacho, main="Gramacho 2011", lower=TRUE, dendrogram = TRUE)

# calculando o PCA - Análise de Componentes Principais
# apenas um conjunto de dados mais coeso
res_pca_gramacho = PCA(gramacho, ncp = 3)

# plotando o PCA em cores
fviz_pca_var(res_pca_gramacho, col.var="contrib", repel = TRUE, title="Gramacho 2011")

# fazendo a transposta da matriz de dados para preparar Dendrograma
gramacho_t = t(gramacho)

# Calculando o PCA da matriz de dados transposta
res_pca_gramacho_t = PCA(gramacho_t, ncp = 3, graph = FALSE)

# calculando a aglomeração dos PCA em dendrogramas 2D
res_hcpc_gramacho_t = HCPC(res_pca_gramacho_t, graph = FALSE)

# plotando o dendrograma em 3D
plot(res_hcpc_gramacho_t, choice = "3D.map", angle = 60, title="Gramacho 2011")

```

APÊNDICE II – ARQUIVO DE ENTRADA DO AERMOD

```

**
*****
**
** ISCST3 Input Produced by:
** AERMOD View Ver. 8.9.0
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 05/12/2021
** File: C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_CO_MAX_NOR\ACG_CO_MAX_NOR.INP
**
*****
**
**
*****
** ISCST3 Control Pathway
*****
**
**
CO STARTING
  TITLEONE
C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
  MODELOPT DFAULT CONC URBAN
  AVERTIME 1 8 24
  POLLUTID CO
  TERRHGTS ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL ACG_CO~2.ERR
CO FINISHED
**
*****
** ISCST3 Source Pathway
*****
**
**
SO STARTING
** Source Location **
** Source ID - Type - X Coord. - Y Coord. **
  LOCATION AREA1   AREA   677996.509 7483116.285   18.000
** DESCRSRC ACG_CO
** Source Parameters **
  SRCPARAM AREA1   0.000095 45.000 1250.000 760.000 20.000
  SRCGROUP ALL
SO FINISHED
**
*****
** ISCST3 Receptor Pathway
*****
**
**
RE STARTING

```

GRIDCART UCART1 STA

XYINC	669496.51	18	1000.00	7474616.29	18	1000.00
ELEV	1	0.00	0.00	0.00	12.00	48.00 22.00
ELEV	1	5.00	5.00	5.00	0.00	0.00 3.00
ELEV	1	1.00	57.00	43.00	20.00	2.00 35.00
ELEV	2	9.00	6.00	6.00	17.00	17.00 19.00
ELEV	2	13.00	3.00	5.00	3.00	2.00 9.00
ELEV	2	4.00	6.00	41.00	36.00	0.00 5.00
ELEV	3	21.00	44.00	7.00	11.00	16.00 3.00
ELEV	3	3.00	5.00	3.00	1.00	24.00 12.00
ELEV	3	11.00	44.00	26.00	22.00	70.00 70.00
ELEV	4	41.00	18.00	4.00	3.00	4.00 2.00
ELEV	4	16.00	2.00	3.00	1.00	1.00 12.00
ELEV	4	13.00	11.00	8.00	7.00	7.00 54.00
ELEV	5	26.00	12.00	14.00	8.00	8.00 5.00
ELEV	5	5.00	15.00	7.00	0.00	6.00 6.00
ELEV	5	5.00	5.00	8.00	8.00	4.00 7.00
ELEV	6	53.00	27.00	25.00	26.00	30.00 20.00
ELEV	6	31.00	10.00	4.00	0.00	0.00 4.00
ELEV	6	7.00	2.00	0.00	0.00	6.00 1.00
ELEV	7	0.00	36.00	56.00	34.00	34.00 11.00
ELEV	7	21.00	7.00	4.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	8	7.00	7.00	7.00	5.00	63.00 45.00
ELEV	8	6.00	3.00	7.00	4.00	0.00 0.00
ELEV	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	9	2.00	3.00	1.00	7.00	7.00 7.00
ELEV	9	9.00	13.00	13.00	13.00	0.00 1.00
ELEV	9	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	10	43.00	19.00	50.00	3.00	2.00 2.00
ELEV	10	2.00	1.00	1.00	45.00	3.00 0.00
ELEV	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	11	17.00	21.00	23.00	41.00	11.00 5.00
ELEV	11	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00 5.00
ELEV	11	4.00	4.00	0.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	12	12.00	12.00	14.00	50.00	5.00 1.00
ELEV	12	2.00	3.00	3.00	2.00	2.00 2.00
ELEV	12	2.00	7.00	1.00	1.00	1.00 0.00
ELEV	13	71.00	23.00	23.00	6.00	6.00 6.00
ELEV	13	1.00	1.00	1.00	11.00	11.00 5.00
ELEV	13	5.00	0.00	0.00	0.00	3.00 3.00
ELEV	14	41.00	24.00	24.00	3.00	3.00 5.00
ELEV	14	5.00	4.00	4.00	4.00	5.00 6.00
ELEV	14	1.00	1.00	10.00	1.00	2.00 1.00
ELEV	15	3.00	6.00	6.00	1.00	5.00 5.00
ELEV	15	42.00	12.00	4.00	9.00	16.00 25.00
ELEV	15	3.00	6.00	3.00	6.00	52.00 35.00
ELEV	16	1.00	1.00	1.00	4.00	2.00 2.00
ELEV	16	3.00	15.00	15.00	5.00	5.00 5.00
ELEV	16	5.00	10.00	17.00	17.00	17.00 63.00
ELEV	17	3.00	2.00	2.00	3.00	2.00 4.00

ELEV	17	4.00	10.00	67.00	8.00	8.00	8.00
ELEV	17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00
ELEV	18	4.00	3.00	4.00	6.00	6.00	7.00
ELEV	18	4.00	10.00	8.00	8.00	2.00	2.00
ELEV	18	2.00	4.00	4.00	2.00	1.00	5.00

GRIDCART UCART1 END

RE FINISHED

**

** ISCST3 Meteorology Pathway

**

**

ME STARTING

INPUTFIL GRAMACHO.met

ANEMHGHT 10 METERS

SURFDATA 603 2011

UAIRDATA 603 2011

ME FINISHED

**

** ISCST3 Output Pathway

**

**

OU STARTING

RECTABLE ALLAVE 1ST

RECTABLE 1 1ST

RECTABLE 8 1ST

RECTABLE 24 1ST

** Auto-Generated Plotfiles

PLOTFILE 1 ALL 1ST ACG_CO~1.IS\01H1GALL.PLT 31

PLOTFILE 8 ALL 1ST ACG_CO~1.IS\08H1GALL.PLT 32

PLOTFILE 24 ALL 1ST ACG_CO~1.IS\24H1GALL.PLT 33

OU FINISHED

**

** Project Parameters

** PROJCTN CoordinateSystemUTM

** DESCPTN UTM: Universal Transverse Mercator

** DATUM World Geodetic System 1984

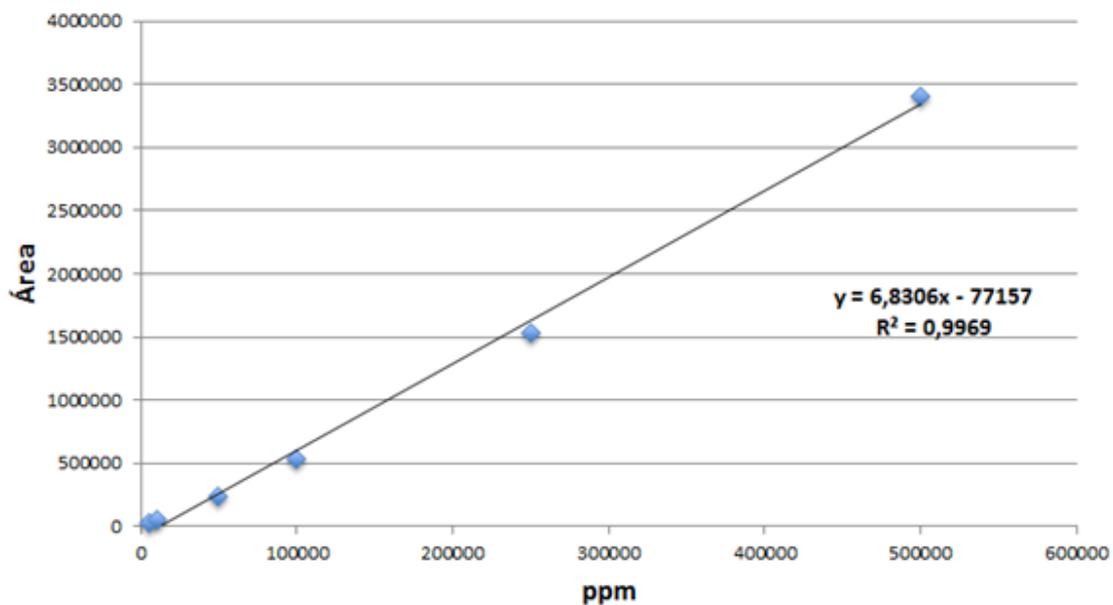
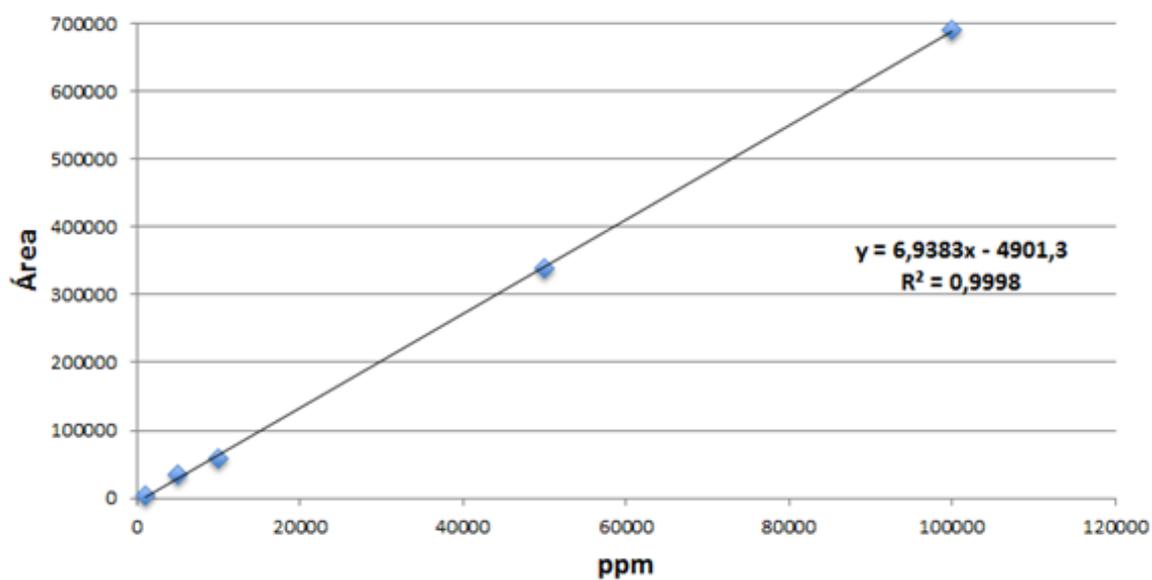
** DTMRGN Global Definition

** UNITS m

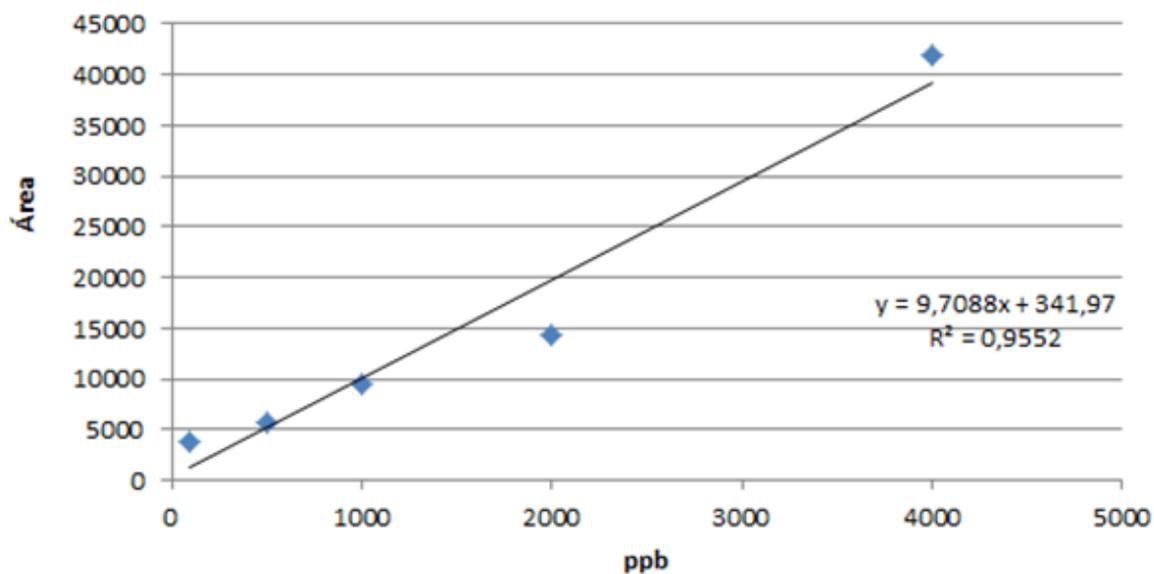
** ZONE -23

** ZONEINX 0

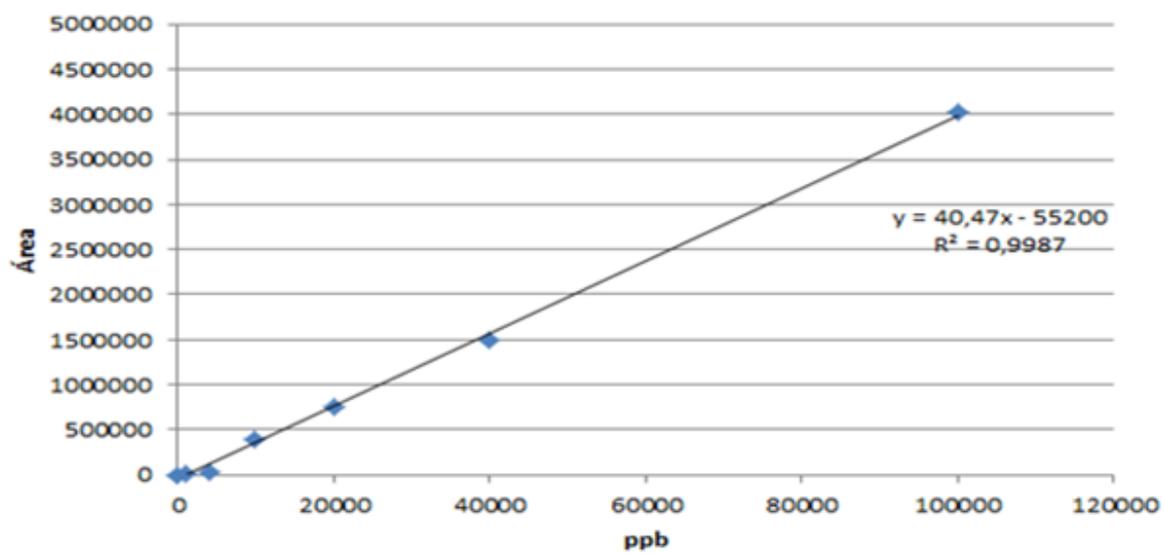
**

APENDICE III – CURVAS ANALÍTICAS DAS ANÁLISES QUÍMICAS**Curva Analítica – Altas Concentrações de Metano****Curva Analítica – Altas Concentrações de Dióxido de Carbono**

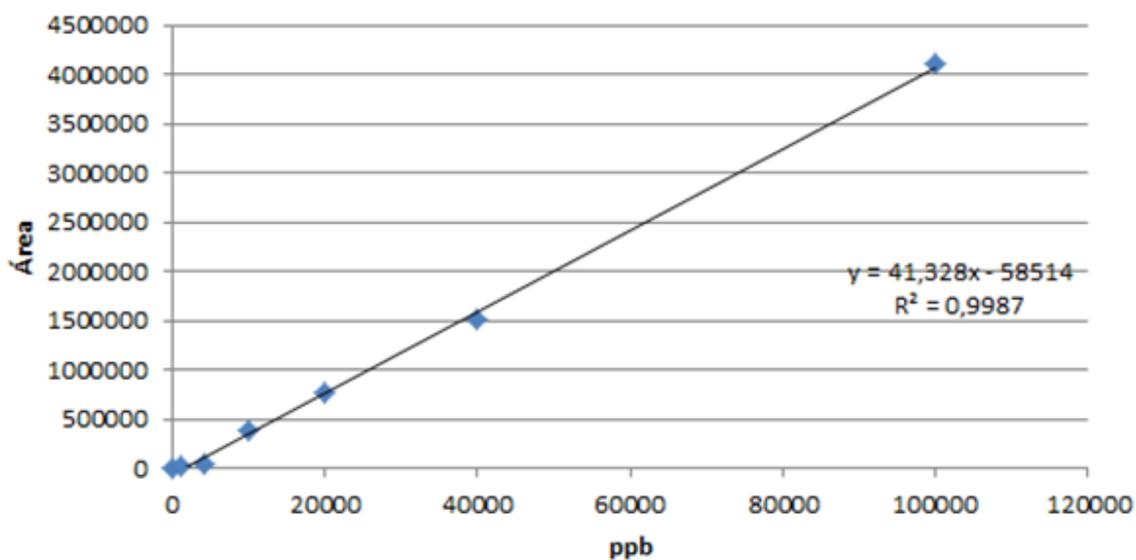
Curva Analítica – Benzeno



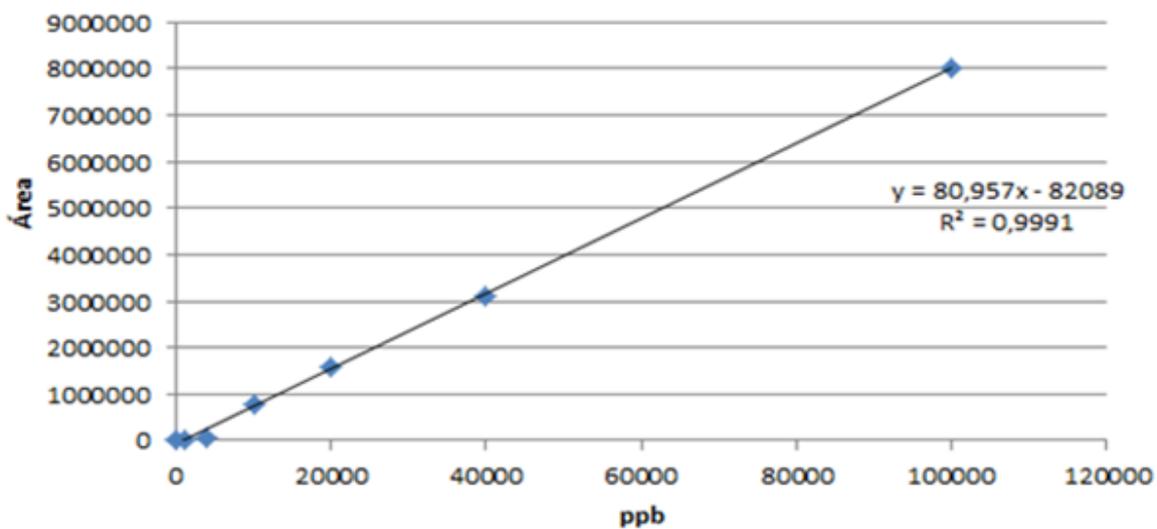
Curva Analítica – Tolueno



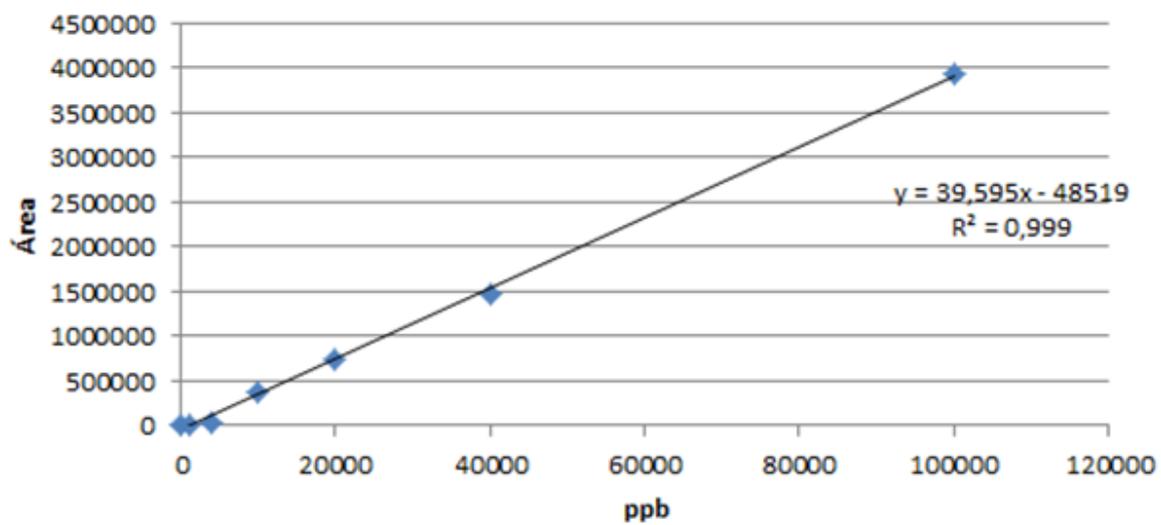
Curva Analítica – Etilbenzeno



Curva Analítica – m,p-Xileno



Curva Analítica – o-Xileno



APENDICE IV – ARQUIVO DE SAÍDA DO AERMOD

```

**
*****
**
** ISCST3 Input Produced by:
** AERMOD View Ver. 8.9.0
** Lakes Environmental Software Inc.
** Date: 05/12/2021
** File: C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_CO_MAX_NOR\ACG_CO_MAX_NOR.INP
**
*****
**
**
*****
** ISCST3 Control Pathway
*****
**
**
CO STARTING
  TITLEONE
C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
  MODELOPT DFAULT CONC URBAN
  AVERTIME 1 8 24
  POLLUTID CO
  TERRHGTS ELEV
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL ACG_CO~2.ERR
CO FINISHED
**
*****
** ISCST3 Source Pathway
*****
**
**
SO STARTING
** Source Location **
** Source ID - Type - X Coord. - Y Coord. **
  LOCATION AREA1    AREA    677996.509 7483116.285    18.000
** DESCRSRC ACG_CO
** Source Parameters **
  SRCPARAM AREA1    0.000095  45.000 1250.000 760.000 20.000
  SRCGROUP ALL
SO FINISHED
**
*****
** ISCST3 Receptor Pathway

```

**

**

RE STARTING

GRIDCART UCART1 STA

XYINC	669496.51	18	1000.00	7474616.29	18	1000.00
ELEV	1	0.00	0.00	0.00	12.00	48.00 22.00
ELEV	1	5.00	5.00	5.00	0.00	0.00 3.00
ELEV	1	1.00	57.00	43.00	20.00	2.00 35.00
ELEV	2	9.00	6.00	6.00	17.00	17.00 19.00
ELEV	2	13.00	3.00	5.00	3.00	2.00 9.00
ELEV	2	4.00	6.00	41.00	36.00	0.00 5.00
ELEV	3	21.00	44.00	7.00	11.00	16.00 3.00
ELEV	3	3.00	5.00	3.00	1.00	24.00 12.00
ELEV	3	11.00	44.00	26.00	22.00	70.00 70.00
ELEV	4	41.00	18.00	4.00	3.00	4.00 2.00
ELEV	4	16.00	2.00	3.00	1.00	1.00 12.00
ELEV	4	13.00	11.00	8.00	7.00	7.00 54.00
ELEV	5	26.00	12.00	14.00	8.00	8.00 5.00
ELEV	5	5.00	15.00	7.00	0.00	6.00 6.00
ELEV	5	5.00	5.00	8.00	8.00	4.00 7.00
ELEV	6	53.00	27.00	25.00	26.00	30.00 20.00
ELEV	6	31.00	10.00	4.00	0.00	0.00 4.00
ELEV	6	7.00	2.00	0.00	0.00	6.00 1.00
ELEV	7	0.00	36.00	56.00	34.00	34.00 11.00
ELEV	7	21.00	7.00	4.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	8	7.00	7.00	7.00	5.00	63.00 45.00
ELEV	8	6.00	3.00	7.00	4.00	0.00 0.00
ELEV	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	9	2.00	3.00	1.00	7.00	7.00 7.00
ELEV	9	9.00	13.00	13.00	13.00	0.00 1.00
ELEV	9	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	10	43.00	19.00	50.00	3.00	2.00 2.00
ELEV	10	2.00	1.00	1.00	45.00	3.00 0.00
ELEV	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	11	17.00	21.00	23.00	41.00	11.00 5.00
ELEV	11	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00 5.00
ELEV	11	4.00	4.00	0.00	0.00	0.00 0.00
ELEV	12	12.00	12.00	14.00	50.00	5.00 1.00
ELEV	12	2.00	3.00	3.00	2.00	2.00 2.00
ELEV	12	2.00	7.00	1.00	1.00	1.00 0.00
ELEV	13	71.00	23.00	23.00	6.00	6.00 6.00
ELEV	13	1.00	1.00	1.00	11.00	11.00 5.00
ELEV	13	5.00	0.00	0.00	0.00	3.00 3.00
ELEV	14	41.00	24.00	24.00	3.00	3.00 5.00
ELEV	14	5.00	4.00	4.00	4.00	5.00 6.00

ELEV	14	1.00	1.00	10.00	1.00	2.00	1.00
ELEV	15	3.00	6.00	6.00	1.00	5.00	5.00
ELEV	15	42.00	12.00	4.00	9.00	16.00	25.00
ELEV	15	3.00	6.00	3.00	6.00	52.00	35.00
ELEV	16	1.00	1.00	1.00	4.00	2.00	2.00
ELEV	16	3.00	15.00	15.00	5.00	5.00	5.00
ELEV	16	5.00	10.00	17.00	17.00	17.00	63.00
ELEV	17	3.00	2.00	2.00	3.00	2.00	4.00
ELEV	17	4.00	10.00	67.00	8.00	8.00	8.00
ELEV	17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00
ELEV	18	4.00	3.00	4.00	6.00	6.00	7.00
ELEV	18	4.00	10.00	8.00	8.00	2.00	2.00
ELEV	18	2.00	4.00	4.00	2.00	1.00	5.00

GRIDCART UCART1 END

RE FINISHED

**

** ISCST3 Meteorology Pathway

**

**

ME STARTING

INPUTFIL GRAMACHO.met

ANEMHGHT 10 METERS

SURFDATA 603 2011

UAIRDATA 603 2011

ME FINISHED

**

** ISCST3 Output Pathway

**

**

OU STARTING

RECTABLE ALLAVE 1ST

RECTABLE 1 1ST

RECTABLE 8 1ST

RECTABLE 24 1ST

** Auto-Generated Plotfiles

PLOTFILE 1 ALL 1ST ACG_CO~1.IS\01H1GALL.PLT 31

PLOTFILE 8 ALL 1ST ACG_CO~1.IS\08H1GALL.PLT 32

PLOTFILE 24 ALL 1ST ACG_CO~1.IS\24H1GALL.PLT 33

OU FINISHED

*** SETUP Finishes Successfully ***

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49
 **MODELOPTs: PAGE 1
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** MODEL SETUP OPTIONS SUMMARY ***

 **Intermediate Terrain Processing is Selected

**Model Is Setup For Calculation of Average CONCentration Values.

-- SCAVENGING/DEPOSITION LOGIC --

**Model Uses NO DRY DEPLETION. DDPLETE = F

**Model Uses NO WET DEPLETION. WDPLETE = F

**NO WET SCAVENGING Data Provided.

**NO GAS DRY DEPOSITION Data Provided.

**Model Does NOT Use GRIDDED TERRAIN Data for Depletion Calculations

**Model Uses URBAN Dispersion.

**Model Uses Regulatory DEFAULT Options:

1. Final Plume Rise.
2. Stack-tip Downwash.
3. Buoyancy-induced Dispersion.
4. Use Calms Processing Routine.
5. Not Use Missing Data Processing Routine.
6. Default Wind Profile Exponents.
7. Default Vertical Potential Temperature Gradients.
8. "Upper Bound" Values for Supersquat Buildings.
9. No Exponential Decay for URBAN/Non-SO2

**Model Accepts Receptors on ELEV Terrain.

**Model Assumes No FLAGPOLE Receptor Heights.

**Model Calculates 3 Short Term Average(s) of: 1-HR 8-HR 24-HR

**This Run Includes: 1 Source(s); 1 Source Group(s); and 324 Receptor(s)

**The Model Assumes A Pollutant Type of: CO

**Model Set To Continue RUNning After the Setup Testing.

**Output Options Selected:

Model Outputs Tables of Highest Short Term Values by Receptor (RECTABLE Keyword)
Model Outputs External File(s) of High Values for Plotting (PLOTFILE Keyword)

**NOTE: The Following Flags May Appear Following CONC Values: c for Calm Hours
m for Missing Hours
b for Both Calm and Missing Hours

**Misc. Inputs: Anem. Hgt. (m) = 10.00 ; Decay Coef. = 0.000 ; Rot. Angle = 0.0
Emission Units = GRAMS/SEC ; Emission Rate Unit Factor =
0.10000E+07
Output Units = MICROGRAMS/M**3

**Approximate Storage Requirements of Model = 1.2 MB of RAM.

**Input Runstream File: ACG_CO_MAX_NOR.INP
**Output Print File: ACG_CO_MAX_NOR.OUT
**Detailed Error/Message File: ACG_CO~2.ERR

```

***   ISCST3   -   VERSION   02035   ***
C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
***   12/05/21   ***
***                                     ***   10:47:49
**MODELOPTs:
CONC          URBAN ELEV   DFAULT
PAGE 2
  
```

*** AREA SOURCE DATA ***

```

NUMBER EMISSION RATE COORD (SW CORNER) BASE  RELEASE X-DIM
Y-DIM ORIENT. INIT. EMISSION RATE
SOURCE PART. (GRAMS/SEC  X  Y  ELEV. HEIGHT OF AREA OF AREA
OF AREA  SZ  SCALAR VARY
ID  CATS. /METER**2) (METERS) (METERS) (METERS) (METERS) (METERS)
(METERS) (DEG.) (METERS)  BY
  
```

```

-----
AREA1      0  0.95000E-04  677996.5  7483116.5  18.0  45.00  1250.00  760.00  20.00
0.00
  
```

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***

C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.

*** 12/05/21

10:47:49

**MODELOPTs:

PAGE 3

CONC URBAN ELEV DFAULT

*** SOURCE IDs DEFINING SOURCE GROUPS ***

GROUP ID

SOURCE IDs

ALL AREA1 ,

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
*** 12/05/21 *** 10:47:49
**MODELOPTs: PAGE 4
CONC URBAN ELEV DFAULT

*** GRIDDED RECEPTOR NETWORK SUMMARY ***

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

*** X-COORDINATES OF GRID ***
(METERS)

669496.5, 670496.5, 671496.5, 672496.5, 673496.5, 674496.5, 675496.5, 676496.5,
677496.5, 678496.5,
679496.5, 680496.5, 681496.5, 682496.5, 683496.5, 684496.5, 685496.5, 686496.5,

*** Y-COORDINATES OF GRID ***
(METERS)

7474616.5, 7475616.5, 7476616.5, 7477616.5, 7478616.5, 7479616.5, 7480616.5, 7481616.5,
7482616.5, 7483616.5,
7484616.5, 7485616.5, 7486616.5, 7487616.5, 7488616.5, 7489616.5, 7490616.5, 7491616.5,

7476616.50 3.00	21.00	44.00	7.00	11.00	16.00	3.00	3.00	5.00
7475616.50 5.00	9.00	6.00	6.00	17.00	17.00	19.00	13.00	3.00
7474616.50 5.00	0.00	0.00	0.00	12.00	48.00	22.00	5.00	5.00

7476616.50 70.00	1.00	24.00	12.00	11.00	44.00	26.00	22.00	70.00
7475616.50 5.00	3.00	2.00	9.00	4.00	6.00	41.00	36.00	0.00
7474616.50 35.00	0.00	0.00	3.00	1.00	57.00	43.00	20.00	2.00

B	.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00	.15000E+00
.15000E+00					
C	.20000E+00	.20000E+00	.20000E+00	.20000E+00	.20000E+00
.20000E+00					
D	.25000E+00	.25000E+00	.25000E+00	.25000E+00	.25000E+00
.25000E+00					
E	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00
.30000E+00					
F	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00	.30000E+00
.30000E+00					

*** VERTICAL POTENTIAL TEMPERATURE GRADIENTS ***
 (DEGREES KELVIN PER METER)

	STABILITY	WIND SPEED CATEGORY					
	CATEGORY	1	2	3	4	5	6
A	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
B	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00							
C	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00							
D	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00	.00000E+00
.00000E+00							
E	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01	.20000E-01
.20000E-01							
F	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-01	.35000E-
01							

```

***      ISCST3      -      VERSION      02035      ***
C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
***      12/05/21
***
***      10:47:49
**MODELOPTs:
CONC      URBAN ELEV      DFAULT
PAGE 8

```

*** THE FIRST 24 HOURS OF METEOROLOGICAL DATA ***

```

FILE: GRAMACHO.met
FORMAT: (4I2,2F9.4,F6.1,I2,2F7.1,f9.4,f10.1,f8.4,i4,f7.2)
SURFACE STATION NO.: 603      UPPER AIR STATION NO.: 603
NAME: UNKNOWN      NAME: UNKNOWN
YEAR: 2011      YEAR: 2011

```

```

FLOW SPEED TEMP STAB MIXING HEIGHT (M) USTAR M-O LENGTH Z-0
IPCODE PRATE
YR MN DY HR VECTOR (M/S) (K) CLASS RURAL URBAN (M/S) (M) (M)
(mm/HR)
-----

```

11	01	01	01	160.0	3.60	296.0	4	83.2	262.4	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	02	130.0	2.57	296.0	4	138.4	303.8	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	03	140.0	1.03	295.0	2	193.5	345.1	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	04	130.0	1.54	295.0	3	248.6	386.5	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	05	0.0	0.00	295.0	3	303.8	427.8	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	06	150.0	1.03	295.0	3	358.9	469.2	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	07	150.0	2.06	295.0	3	414.0	510.5	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	08	140.0	1.54	295.0	3	469.2	551.9	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	09	170.0	1.54	295.0	2	524.3	593.2	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	10	0.0	0.00	295.0	3	579.5	634.6	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	11	0.0	0.00	296.0	1	634.6	675.9	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	12	0.0	0.00	297.0	1	689.7	717.3	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	13	120.0	1.03	298.0	4	800.0	800.0	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	14	150.0	2.06	299.0	5	800.0	739.2	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	15	150.0	2.57	300.0	6	800.0	685.3	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	16	10.0	2.06	300.0	7	800.0	631.4	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	17	340.0	2.06	301.0	7	800.0	577.5	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	18	50.0	2.57	301.0	7	800.0	523.5	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	19	130.0	2.06	302.0	7	800.0	469.6	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	20	140.0	2.57	301.0	7	800.0	415.7	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	21	100.0	4.12	300.0	7	800.0	361.8	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	22	150.0	4.12	300.0	7	800.0	307.8	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	23	150.0	3.09	300.0	7	800.0	253.9	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00
11	01	01	24	140.0	3.60	299.0	7	800.0	200.0	0.0000	0.0	0.0000	0	0.00

*** NOTES: STABILITY CLASS 1=A, 2=B, 3=C, 4=D, 5=E AND 6=F.
FLOW VECTOR IS DIRECTION TOWARD WHICH WIND IS BLOWING.

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 9
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 1-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD	X-COORD (METERS)		
(METERS)	669496.50	670496.50	671496.50
673496.50			672496.50

7491616.5	93.45201 (11052319)	76.15086 (11051601)	136.22459 (11081024)	96.16013 (11051601)
7490616.5	119.62699 (11052319)	118.28430 (11052319)	85.70368 (11051601)	160.48383 (11081024)
7489616.5	42.08386 (11011315)	116.69469 (11052319)	149.21814 (11052319)	97.60757 (11051601)
7488616.5	149.47777 (11011315)	100.09138 (11011315)	104.79156 (11052319)	186.65540 (11052319)
7487616.5	65.39498 (11101001)	140.48869 (11011315)	178.85158 (11011315)	82.61153 (11052319)
7486616.5	163.30487 (11051215)	144.22566 (11051215)	85.55132 (11101001)	204.93892 (11011315)
7485616.5	77.44277 (11052002)	92.89925 (11051215)	182.78625 (11051215)	234.63193 (11051215)
7484616.5	150.69029 (11030124)	187.90971 (11030124)	213.10129 (11030124)	211.01741 (11030124)
7483616.5	137.15146 (11011720)	149.75700 (11011720)	164.81143 (11011720)	183.05630 (11011720)
7482616.5	103.87768 (11071401)	107.46084 (11071401)	111.08022 (11071401)	153.17999 (11061217)
7481616.5	164.93195 (11061217)	170.53081 (11061217)	154.85095 (11061217)	117.49152 (11061217)
7480616.5	79.00365 (11042017)	146.46156 (11042017)	193.08926 (11042017)	164.14018 (11042017)
7479616.5	135.60219 (11042017)	88.65103 (11042017)	128.81415 (11072219)	196.47870 (11072219)
	119.61166 (11072219)			

7478616.5 (11031014)	89.69807 (11072219) 120.86795 (11031014)	154.21240 (11072219)	127.63855 (11072219)	89.56036
7477616.5 (11031014)	123.10678 (11072219) 145.91660 (11051716)	61.25329 (11072219)	90.87436 (11031014)	94.46086
7476616.5 (11051716)	45.82322 (11080202) 145.90538 (11051716)	87.49577 (11031014)	73.57610 (11031014)	111.39119
7475616.5 (11051716)	81.19106 (11031014) 88.40427 (11090401)	57.28434 (11031014)	85.14409 (11051716)	138.35576
7474616.5 (11090401)	47.91706 (11080202) 105.09801 (11090401)	65.31863 (11051716)	126.83823 (11051716)	64.47615

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
*** 12/05/21

*** 10:47:49
**MODELOPTs: PAGE 10
CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 1-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
FOR SOURCE GROUP: ALL ***
INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD | X-COORD (METERS)
(METERS) | 674496.50 675496.50 676496.50 677496.50
678496.50

7491616.5	105.33892 (11081101)	157.34512 (11022323)	97.74148 (11071101)	150.63087 (11050417)
7490616.5	154.71614 (11030620)	176.22368 (11030424)	118.60683 (11022323)	133.33820 (11022323)
182.96977 (11050417)	171.37244 (11030620)	129.52635 (11030424)	150.21005 (11030424)	205.29420 (11022323)
7489616.5	206.37137 (11050417)	192.05078 (11030620)	199.88571 (11081024)	228.63249 (11030424)
7488616.5	212.36180 (11050417)	218.49907 (11030620)	161.20790 (11081024)	200.08417 (11081024)
7487616.5	213.49605 (11022323)	253.66977 (11030620)	271.15826 (11052319)	243.36168 (11081024)
7486616.5	293.80173 (11030424)	343.40100 (11022323)	302.80774 (11030620)	316.19818 (11011315)
7485616.5	382.50775 (11081024)	421.45056 (11030424)	375.31174 (11030620)	317.72983 (11051215)
7484616.5	520.66400 (11011315)	628.30841 (11081024)	503.81183 (11050417)	234.62453 (11011720)
7483616.5	578.72491 (11030124)	725.80652 (11051215)	459.83762 (11030907)	331.34116 (11061217)
7482616.5	481.86157 (11042017)	573.99005 (11072219)	463.44638 (11061521)	294.65128 (11042017)
7481616.5	303.21466 (11072219)	394.28870 (11051716)	423.20935 (11042414)	246.09474 (11072219)
7480616.5	307.99268 (11051716)	309.72055 (11030921)	333.97394 (11030915)	153.49416 (11031014)
7479616.5	173.56773 (11011321)	7479616.5	153.49416 (11031014)	244.96306 (11051716)
273.18134 (11030921)	275.72379 (11042414)			

7478616.5 | 190.39769 (11051716) 140.00854 (11051716) 159.69344 (11030921)
193.21204 (11030915) 235.38441 (11042414)
7477616.5 | 147.26024 (11051716) 134.20468 (11090401) 198.94255 (11030921)
199.62621 (11030915) 205.55280 (11042414)
7476616.5 | 114.48771 (11090401) 105.27402 (11090401) 175.93176 (11030921)
190.16728 (11030915) 182.48422 (11042414)
7475616.5 | 113.58060 (11090401) 129.89572 (11030921) 114.02303 (11030921)
168.37302 (11030915) 164.03462 (11042414)
7474616.5 | 88.70815 (11090401) 147.23599 (11030921) 81.94242 (11030915) 139.09734
(11030915) 148.93010 (11042414)

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 11
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 1-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD	X-COORD (METERS)		
(METERS)	679496.50	680496.50	681496.50
683496.50			682496.50

7491616.5	96.22121 (11051001)	140.07283 (11042916)	142.81059 (11013117)	79.42250 (11013117)
7490616.5	124.47945 (11042916)	126.35323 (11042916)	166.34497 (11013117)	
130.69286 (11013118)	117.81383 (11013118)			
7489616.5	171.06889 (11042916)	134.87473 (11013117)	141.71030 (11013117)	
176.02267 (11013118)	131.28340 (11030621)			
7488616.5	217.82559 (11042916)	209.09207 (11013117)	186.64424 (11013118)	
122.56474 (11030621)	174.40063 (11030621)			
7487616.5	255.81244 (11042916)	234.09784 (11013117)	217.00003 (11013118)	
217.79430 (11030621)	182.89206 (11022316)			
7486616.5	285.39731 (11042916)	274.28510 (11013118)	266.05515 (11030621)	
240.50658 (11022316)	145.04608 (11022316)			
7485616.5	345.47708 (11013117)	324.07666 (11030621)	314.76181 (11022316)	
273.35529 (11051120)	201.02699 (11051120)			
7484616.5	426.76337 (11013118)	420.34482 (11022316)	353.68457 (11051120)	
337.81079 (11012718)	209.18311 (11012718)			
7483616.5	641.94177 (11012718)	626.84985 (11012317)	449.02246 (11012317)	
279.90280 (11012317)	210.36044 (11032023)			
7482616.5	744.13660 (11011414)	632.56903 (11030423)	453.02408 (11051419)	
390.62045 (11051419)	283.33640 (11051419)			
7481616.5	818.95612 (11051717)	519.42133 (11011414)	448.11246 (11013116)	
298.94870 (11030423)	301.44543 (11030423)			
7480616.5	367.51053 (11031214)	577.14996 (11051717)	311.18744 (11011414)	
197.25052 (11011414)	278.38766 (11013116)			
7479616.5	307.61975 (11061521)	420.98688 (11051717)	274.50623 (11051721)	
198.18933 (11011414)	211.33772 (11011414)			

7478616.5 | 263.90027 (11061521) 266.99792 (11031214) 421.48325 (11051717)
245.32413 (11051721) 134.66188 (11031902)
7477616.5 | 210.39348 (11061521) 201.59821 (11031214) 253.34262 (11051717)
232.60585 (11051717) 206.28783 (11051721)
7476616.5 | 155.91299 (11061521) 115.27370 (11071601) 162.82512 (11031214)
311.96918 (11051717) 92.10587 (11051721)
7475616.5 | 108.74744 (11061521) 135.34229 (11061521) 177.76266 (11031214)
167.39742 (11051717) 229.99301 (11051717)
7474616.5 | 93.33875 (11061601) 147.49696 (11061521) 133.52661 (11031214) 105.46263
(11071601) 234.37878 (11051717)

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 12
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 1-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD | X-COORD (METERS)
 (METERS) | 684496.50 685496.50 686496.50

7491616.5	65.68501 (11032802)	127.03924 (11030621)	84.21379 (11030621)
7490616.5	132.10147 (11030621)	107.76660 (11030621)	80.40187 (11022316)
7489616.5	137.58511 (11030621)	105.38372 (11022316)	140.43356 (11022316)
7488616.5	138.72502 (11022316)	149.88470 (11022316)	83.77722 (11032101)
7487616.5	152.72733 (11022316)	138.75143 (11051120)	160.89584 (11051120)
7486616.5	210.53557 (11051120)	127.85687 (11051120)	114.49087 (11012718)
7485616.5	203.26341 (11012718)	202.33224 (11012718)	130.17882 (11012718)
7484616.5	189.60368 (11012317)	206.80431 (11012317)	194.15028 (11012317)
7483616.5	187.52469 (11032023)	168.92976 (11032023)	153.48975 (11032023)
7482616.5	184.41533 (11051419)	113.05008 (11051419)	85.89729 (11032023)
7481616.5	158.74387 (11030423)	144.91826 (11051419)	173.06285 (11051419)
7480616.5	128.97513 (11030423)	206.19920 (11030423)	182.47632 (11030423)
7479616.5	195.71457 (11013116)	183.81960 (11013116)	74.24722 (11032602)
7478616.5	200.52509 (11011414)	97.35453 (11031902)	170.36980 (11013116)
7477616.5	115.03806 (11031902)	178.03915 (11011414)	104.03237 (11031902)
7476616.5	168.10739 (11051721)	100.17166 (11031902)	152.19200 (11011414)
7475616.5	108.83666 (11051721)	134.81561 (11051721)	88.47900 (11031902)
7474616.5	119.58110 (11051717)	116.44247 (11051721)	107.25894 (11051721)

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 13
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 8-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD	X-COORD (METERS)		
(METERS)	669496.50	670496.50	671496.50
673496.50			672496.50

7491616.5	15.57534c(11052324)	13.98610 (11051608)	32.43485c(11050624)
19.93283c(11050624)	32.47063c(11032824)		
7490616.5	19.93783c(11052324)	19.71405c(11052324)	15.93954 (11051608)
38.21093c(11050624)	19.22013 (11051608)		
7489616.5	12.34930c(11060424)	19.44911c(11052324)	24.86969c(11052324)
18.58342c(11050624)	43.70185c(11050624)		
7488616.5	33.29730c(11060424)	23.91937c(11060424)	17.46526c(11052324)
31.10923c(11052324)	26.33671c(11050624)		
7487616.5	14.51147c(11100916)	31.61092c(11100916)	40.44590c(11060424)
26.73332c(11060424)	38.21025c(11052324)		
7486616.5	49.47833 (11092924)	43.69769 (11092924)	23.09512 (11051216)
46.36907c(11100916)	50.47490c(11060424)		
7485616.5	18.00955 (11031008)	28.14674 (11092924)	55.38083 (11092924)
(11092924)	49.73558 (11092924)		71.08910
7484616.5	33.48782c(11061224)	41.75907c(11061224)	47.35738c(11061224)
(11070924)	52.05742c(11101224)		48.36261
7483616.5	31.25008c(11071808)	34.30107c(11071808)	38.06248c(11071808)
(11053124)	57.30096 (11053124)		44.89843
7482616.5	25.13629c(11071808)	26.81290c(11071808)	30.21995c(11060324)
41.46903c(11060324)	59.67138c(11122724)		
7481616.5	41.57295c(11122724)	44.21772c(11122724)	44.88236c(11122724)
(11080224)	83.98928 (11080224)		54.32928
7480616.5	29.71614 (11080224)	48.10208 (11080224)	61.12168 (11080224)
(11080224)	28.36796c(11072224)		51.45656
7479616.5	42.41444 (11080224)	27.70838 (11080224)	18.43153c(11072224)
29.27226c(11072224)	28.72954c(11072224)		

7478616.5 | 13.73161 (11082708) 22.16653c(11072224) 20.70129c(11072224) 21.04778
 (11053024) 26.33141c(11080724)
 7477616.5 | 17.97374c(11072224) 13.29489 (11082708) 18.86304 (11053024)
 20.05338c(11080724) 32.64769c(11080724)
 7476616.5 | 10.61442 (11082708) 17.46906 (11053024) 15.35368c(11080724)
 24.58370c(11080724) 32.02600c(11080724)
 7475616.5 | 16.04054 (11053024) 11.81324c(11080724) 18.65602c(11080724)
 27.87719c(11080724) 24.47532c(11080724)
 7474616.5 | 9.72658 (11091908) 14.24564c(11080724) 24.94145c(11080724)
 18.18288c(11080724) 26.68437c(11080724)

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 14
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 8-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD	X-COORD (METERS)		
(METERS)	674496.50	675496.50	676496.50
678496.50			677496.50

7491616.5	25.57929c(11032824)	42.61473 (11110924)	23.55679c(11060924)
35.95768c(11060924)	29.47069c(11081324)		
7490616.5	44.05592c(11032824)	32.12333 (11110924)	36.11279 (11110924)
44.06456c(11060924)	32.64342c(11081324)		
7489616.5	32.59276 (11081024)	37.55251c(11032824)	55.60107 (11110924)
51.42929c(11060924)	36.58377c(11081324)		
7488616.5	47.59245c(11050624)	57.15812c(11032824)	57.71247 (11110924)
58.74915c(11060924)	41.63818c(11081324)		
7487616.5	38.39373c(11050624)	47.86792 (11081024)	59.24789c(11032824)
66.65263c(11060924)	48.50655c(11081324)		
7486616.5	45.19304c(11052324)	58.02754c(11050624)	84.35008 (11081024)
(11110924)	70.59991c(11060924)		93.14355
7485616.5	72.61050c(11060424)	74.99092c(11060424)	91.87300c(11050624)
(11081024)	127.67626c(11060924)		125.18495
7484616.5	96.27423 (11092924)	115.54483 (11092924)	146.90367c(11060424)
(11081024)	248.30898c(11060924)		197.07013
7483616.5	77.60582 (11053124)	109.64737 (11053124)	150.50323 (11053124)
294.52863c(11050624)	258.38464c(11071408)		
7482616.5	89.18467c(11122724)	132.58391c(11122724)	216.82718 (11080224)
213.70883 (11080224)	311.26312c(11100524)		
7481616.5	96.54463 (11080224)	61.02203 (11080224)	78.61928c(11072224)
219.77832c(11080724)	252.74863c(11100524)		
7480616.5	44.31855c(11072224)	47.27756c(11080724)	107.23248c(11080724)
137.73116c(11080424)	172.26970c(11100524)		
7479616.5	34.88159c(11080724)	63.31244c(11080724)	84.06311c(11080724)
121.74572c(11080424)	123.91227c(11100524)		

7478616.5	44.11308c(11080724)	58.55283c(11080724)	70.97543c(11080424)	
81.47826c(11080424)	92.48241c(11100524)			
7477616.5	40.85203c(11080724)	44.92058c(11080724)	88.41962c(11080424)	43.15270
(11101324)	72.42213c(11100524)			
7476616.5	34.75480c(11080724)	35.75602c(11080724)	78.19253c(11080424)	41.66538
(11101324)	59.50469c(11100524)			
7475616.5	31.14020c(11080724)	57.73190c(11080424)	50.67862c(11080424)	37.53994
(11101324)	50.83573c(11100524)			
7474616.5	22.06444c(11080724)	65.43874c(11080424)	24.10786c(11080424)	31.78708
(11101324)	44.69852c(11100524)			

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 15
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 8-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD	X-COORD (METERS)		
(METERS)	679496.50	680496.50	681496.50
683496.50			682496.50

7491616.5	27.08829c(11062208)	41.20202c(11062208)	35.64697 (11033124)	25.63790
(11013124)	36.38523 (11013124)			
7490616.5	33.37236c(11062208)	43.57311c(11062208)	41.11349 (11033124)	38.18853
(11013124)	31.87879 (11032808)			
7489616.5	41.11206c(11062208)	44.97457c(11062208)	42.09096 (11013124)	45.62918
(11013124)	32.51802 (11051724)			
7488616.5	50.67637c(11062208)	58.95174 (11033124)	59.22205 (11013124)	39.79748
(11051724)	41.52450c(11050324)			
7487616.5	62.68817c(11062208)	69.59821 (11013124)	60.34215 (11013124)	
51.85769c(11050324)	34.10442c(11011524)			
7486616.5	94.17461 (11033124)	101.57927 (11013124)	67.04997 (11051724)	
45.70104c(11011524)	34.05109c(11042516)			
7485616.5	142.16850 (11033124)	103.54382 (11051724)	61.96146c(11011524)	
49.61295c(11111624)	38.50293c(11123108)			
7484616.5	194.65448 (11013124)	103.88509c(11050324)	70.95032c(11111624)	74.19608
(11022124)	61.64525 (11022124)			
7483616.5	250.61917c(11050324)	191.13544 (11022124)	127.08442 (11012324)	82.37846
(11012324)	53.87743 (11092624)			
7482616.5	372.46393c(11032124)	219.62904 (11020824)	130.40033 (11111224)	
93.04870c(11060624)	67.48423c(11060624)			
7481616.5	395.22665c(11080324)	157.11232 (11031424)	113.08234 (11022724)	91.03288
(11020824)	87.29073 (11020824)			
7480616.5	140.87590 (11100424)	227.52687c(11080324)	93.48871 (11031424)	
67.78439c(11112124)	60.95654 (11022724)			
7479616.5	115.04641 (11100424)	193.95618c(11080324)	78.29944c(11032524)	59.31383
(11031424)	60.38221c(11050824)			

7478616.5 | 90.57429 (11100424) 78.87838c(11080324) 162.65321c(11080324) 60.03685
 (11033024) 41.13901c(11050316)
 7477616.5 | 75.59490c(11100524) 49.12386c(11081824) 110.38189c(11080324)
 88.08387c(11080324) 48.92513 (11033024)
 7476616.5 | 60.94467c(11100524) 44.16225 (11100424) 50.43015c(11080324)
 119.40353c(11080324) 33.40382c(11080324)
 7475616.5 | 48.09458c(11100524) 47.76715 (11100424) 43.44778c(11081824)
 69.93999c(11080324) 87.05929c(11080324)
 7474616.5 | 38.04484c(11100524) 49.48990 (11100424) 31.86832c(11081824)
 32.13509c(11080324) 89.32355c(11080324)

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 16
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 8-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD | X-COORD (METERS)
 (METERS) | 684496.50 685496.50 686496.50

7491616.5	24.29193 (11032808)	30.24783c(11050324)	20.05116c(11050324)
7490616.5	31.45314c(11050324)	25.65905c(11050324)	14.65485c(11011524)
7489616.5	32.75879c(11050324)	19.30006c(11011524)	23.46086c(11011524)
7488616.5	25.58405c(11011524)	25.04443c(11011524)	18.22239c(11042516)
7487616.5	25.52491c(11011524)	25.50192c(11042516)	24.91850c(11042516)
7486616.5	33.39669c(11111624)	26.66147c(11123108)	21.46575 (11012724)
7485616.5	37.80471 (11022124)	39.16140 (11022124)	28.95502 (11022124)
7484616.5	47.47944 (11012324)	51.83831 (11012324)	48.74369 (11012324)
7483616.5	44.61383 (11092624)	38.20855 (11092624)	33.61157 (11092624)
7482616.5	43.92244c(11060624)	29.56419 (11021024)	23.05516c(11042408)
7481616.5	50.27352 (11020824)	34.50480c(11060624)	41.20597c(11060624)
7480616.5	40.11423 (11020824)	58.18226 (11020824)	51.42220 (11020824)
7479616.5	43.74145 (11022724)	39.21632 (11022724)	20.40709 (11030424)
7478616.5	57.29288c(11050824)	23.16011 (11022724)	35.87310 (11022724)
7477616.5	30.62642c(11050316)	50.86833c(11050824)	21.42032c(11050824)
7476616.5	39.56505 (11033024)	23.64436c(11050316)	43.48343c(11050824)
7475616.5	26.81121 (11033024)	31.67018 (11033024)	18.80452c(11050316)
7474616.5	45.23440c(11080324)	27.54248 (11033024)	25.18438 (11033024)

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 17
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 24-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD	X-COORD (METERS)		
(METERS)	669496.50	670496.50	671496.50
673496.50			672496.50

7491616.5	5.15887 (11030124)	5.08678c(11051624)	10.24367c(11050624)
7.12576c(11051624)	12.52619 (11060224)		
7490616.5	6.21862c(11122824)	6.11267 (11030124)	5.79792c(11051624)
12.05171c(11050624)	8.57663 (11060224)		
7489616.5	7.07435c(11100924)	6.26557c(11122824)	7.57458c(11122824)
7.19766c(11050624)	13.85213c(11050624)		
7488616.5	24.11436c(11100924)	16.28161c(11100924)	6.07917c(11122824)
9.55022c(11122824)	10.04444c(11050624)		
7487616.5	9.91682c(11100924)	23.24323c(11100924)	28.76911c(11100924)
12.98230c(11100924)	11.92176c(11122824)		
7486616.5	16.91889c(11100324)	15.29806c(11100324)	14.82597c(11100924)
33.78256c(11100924)	32.35940c(11100924)		
7485616.5	8.00116c(11100924)	10.19388 (11102324)	19.06963c(11100324)
24.73897c(11100324)	24.42660c(11100924)		
7484616.5	14.11761c(11053124)	17.12622c(11053124)	19.30931c(11053124)
19.58496c(11053124)	19.84822 (11070924)		
7483616.5	16.79668 (11071324)	17.99496 (11071324)	19.53210c(11053124)
23.74191c(11053124)	30.53517c(11053124)		
7482616.5	14.35339 (11071324)	16.07997 (11071324)	18.55293 (11071324)
22.22064c(11060324)	29.60055c(11060324)		
7481616.5	18.27110c(11061524)	18.76293c(11061524)	17.40289c(11061524)
(11080224)	30.71770 (11080224)		22.03700
7480616.5	11.28737 (11080224)	16.95082 (11080224)	20.98935 (11080224)
(11080224)	11.75840 (11082624)		17.71101
7479616.5	14.41421 (11080224)	9.51982 (11080224)	8.13465 (11082624)
(11082624)	11.82297 (11082624)		10.97302

7478616.5	6.03431 (11082624)	8.50750 (11082624)	8.27241 (11082624)	9.10485
(11082724)	10.16270 (11082624)			
7477616.5	7.09140 (11082624)	6.00682 (11082724)	7.91178 (11082724)	7.98735
(11082624)	13.96034c(11080724)			
7476616.5	5.43501 (11082724)	6.89584 (11082724)	6.41811 (11082624)	
10.56026c(11080724)	13.78235c(11080724)			
7475616.5	6.34133c(11053024)	5.23548 (11082624)	8.03337c(11080724)	
12.35730c(11080724)	8.47664c(11080724)			
7474616.5	4.32517 (11082624)	6.14386c(11080724)	11.15287c(11080724)	
7.12774c(11080724)	7.85628 (11113024)			

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 18
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 24-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD	X-COORD (METERS)		
(METERS)	674496.50	675496.50	676496.50
678496.50			677496.50

7491616.5	10.89240 (11060224)	15.07096c(11110924)	8.50240 (11123024)
12.98826c(11050724)	11.46060c(11052724)		
7490616.5	15.43826 (11060224)	11.31875c(11110924)	13.34068c(11110924)
15.32552c(11050724)	13.36035c(11052724)		
7489616.5	13.61808 (11060224)	15.02862 (11060224)	19.94490c(11110924)
17.33340c(11050724)	16.18884c(11052724)		
7488616.5	15.49737c(11050624)	19.69020 (11060224)	20.47546c(11110924)
19.09027c(11050724)	20.59264c(11052724)		
7487616.5	14.49561c(11050624)	17.14793c(11050624)	22.94346 (11060224)
21.50747c(11110924)	27.64548c(11052724)		
7486616.5	14.71690c(11122824)	21.91862c(11050624)	28.11669 (11081024)
33.59350c(11110924)	39.22791c(11052724)		
7485616.5	52.32674c(11100924)	30.76970c(11100924)	35.90945c(11050624)
(11060224)	60.35370c(11052724)		42.68079
7484616.5	34.22145c(11100324)	48.75946c(11100924)	89.22105c(11100924)
72.45790c(11050624)	100.98638c(11052724)		
7483616.5	41.86702c(11053124)	60.31433c(11053124)	85.96596c(11053124)
172.08672c(11100924)	146.17111c(11050624)		
7482616.5	38.75399c(11060324)	55.62845 (11080224)	86.74207 (11080224)
(11080224)	156.88223c(11100524)		87.59103
7481616.5	34.02651 (11080224)	22.93501 (11080224)	34.56570 (11082624)
80.88572c(11080724)	106.12766c(11100524)		
7480616.5	16.66084 (11082624)	20.12399 (11082624)	40.48427c(11080724)
45.62265c(11080724)	69.88641c(11100524)		
7479616.5	13.55031 (11082624)	25.86639c(11080724)	29.25492c(11080724)
34.79091c(11080424)	49.48679c(11100524)		

7478616.5 | 18.64831c(11080724) 21.21985c(11080724) 21.90592c(11080724)
 23.27955c(11080424) 36.58402c(11100524)
 7477616.5 | 16.34784c(11080724) 13.86661c(11080724) 25.26374c(11080424) 14.54506
 (11101324) 28.41947c(11100524)
 7476616.5 | 10.93177c(11080724) 12.05441c(11080724) 22.34072c(11080424) 14.04852
 (11101324) 23.16743c(11100524)
 7475616.5 | 9.18979c(11080724) 16.49496c(11080424) 14.47961c(11080424) 12.66854
 (11101324) 19.63924c(11100524)
 7474616.5 | 7.20418c(11080724) 18.69678c(11080424) 6.88796c(11080424)
 10.89779c(11100524) 17.13906c(11100524)

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 19
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 24-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD	X-COORD (METERS)		
(METERS)	679496.50	680496.50	681496.50
683496.50			682496.50

7491616.5	10.96812c(11052724)	14.46923c(11062224)	17.24508c(11051124)
11.36216c(11051124)	12.65573c(11013124)		
7490616.5	13.09810c(11052724)	15.18491c(11062224)	20.00305c(11051124)
13.28297c(11013124)	12.41329c(11052924)		
7489616.5	17.11384c(11091424)	20.36843c(11051124)	19.03565c(11051124)
15.87102c(11013124)	12.85740c(11051724)		
7488616.5	21.98900c(11091424)	27.60664c(11051124)	20.59897c(11013124)
15.56892c(11051724)	14.30856c(11051724)		
7487616.5	26.25377c(11091424)	31.87852c(11051124)	21.67355c(11052924)
18.45555c(11051724)	12.79663 (11022424)		
7486616.5	41.16469c(11051124)	35.33192c(11013124)	25.63021c(11051724)
(11022424)	18.05289c(11042524)		17.26280
7485616.5	61.10680c(11051124)	39.08879c(11051724)	24.75533 (11022424)
30.01239c(11042524)	22.59998c(11123124)		
7484616.5	80.19070c(11051124)	46.92757c(11042524)	41.82095c(11123124)
28.81085c(11123124)	25.00712 (11022124)		
7483616.5	135.02837c(11123124)	86.70371 (11022124)	49.36596 (11022124)
29.23846c(11103124)	21.49034c(11103124)		
7482616.5	166.65372c(11010124)	85.03243 (11020824)	49.94316 (11020524)
36.51189c(11051024)	27.09970c(11051024)		
7481616.5	152.88501c(11080324)	86.81956 (11031424)	47.31684c(11112124)
37.54651c(11030424)	34.31011 (11020824)		
7480616.5	56.46289 (11092124)	90.95370c(11080324)	51.21591 (11031424)
30.90029c(11112124)	25.98699 (11022724)		
7479616.5	48.07147c(11100524)	73.18449c(11080324)	32.35097c(11080324)
(11031424)	31.87047 (11031424)		32.94949

7478616.5	42.63115c(11100524)	38.76314c(11081824)	64.19526c(11080324)
24.54100c(11051324)	22.50197 (11031424)		
7477616.5	35.85078c(11100524)	23.54927c(11081824)	42.48539c(11080324)
36.04939c(11080324)	19.69309c(11051324)		
7476616.5	28.94840c(11100524)	19.21886 (11092124)	26.28078c(11081824)
47.03412c(11080324)	15.15971c(11080324)		
7475616.5	22.91048c(11100524)	19.21740c(11100524)	21.28735c(11081824)
27.49817c(11080324)	34.79504c(11080324)		
7474616.5	18.14816c(11100524)	20.62549c(11100524)	14.98448c(11081824)
17.80645c(11081824)	35.25867c(11080324)		

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***
 C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
 *** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs: PAGE 20
 CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE 1ST HIGHEST 24-HR AVERAGE CONCENTRATION VALUES
 FOR SOURCE GROUP: ALL ***
 INCLUDING SOURCE(S): AREA1 ,

*** NETWORK ID: UCART1 ; NETWORK TYPE: GRIDCART ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

Y-COORD	X-COORD (METERS)		
(METERS)	684496.50	685496.50	686496.50
7491616.5	9.08017c(11052924)	10.59608c(11051724)	7.07677c(11051724)
7490616.5	11.48170c(11051724)	8.92605c(11051724)	5.74087c(11011524)
7489616.5	11.28508c(11051724)	7.38972c(11011524)	9.83749 (11022424)
7488616.5	9.64986 (11022424)	10.75971 (11022424)	9.41297c(11042524)
7487616.5	11.87835 (11022424)	15.47516c(11042524)	16.39359c(11042524)
7486616.5	21.43573c(11042524)	14.35903c(11123124)	11.26663c(11123124)
7485616.5	16.88136c(11123124)	15.32840c(11031224)	10.78262 (11022124)
7484616.5	21.24826 (11022124)	19.18994 (11022124)	17.15357 (11022124)
7483616.5	17.03712 (11092624)	14.15466 (11092624)	12.79081 (11052224)
7482616.5	18.41974c(11051024)	12.39503c(11021024)	9.09072c(11021024)
7481616.5	20.20338 (11020824)	14.92170c(11062524)	15.43707c(11062524)
7480616.5	18.39036c(11030424)	22.68693 (11020824)	20.26800 (11020824)
7479616.5	19.63293 (11022724)	16.97224 (11022724)	10.17190c(11030424)
7478616.5	30.00757 (11031424)	12.28091c(11112124)	15.87521 (11022724)
7477616.5	16.03611 (11031424)	26.64252 (11031424)	12.04920 (11031424)
7476616.5	15.86127c(11032124)	11.80136 (11031424)	22.88057 (11031424)
7475616.5	12.13337 (11031124)	12.71696c(11032124)	9.24574c(11050324)
7474616.5	18.90408c(11080324)	11.62798 (11031124)	10.24016 (11031124)

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***

C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.

*** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs:

PAGE 21

CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 1-HR RESULTS ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID	DATE	AVERAGE CONC	(YYMMDDHH)	NETWORK
ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	GRID-ID		RECEPTOR (XR, YR,

ALL HIGH 1ST HIGH VALUE IS 818.95612 ON 11051717: AT (679496.50, 7481616.50, 0.00, 0.00) GC UCART1

*** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART

GP = GRIDPOLR

DC = DISCCART

DP = DISCPOLR

BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***

C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.

*** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs:

PAGE 22

CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 8-HR RESULTS ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID	DATE	AVERAGE CONC	(YYMMDDHH)	NETWORK
ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	GRID-ID		RECEPTOR (XR, YR,

ALL HIGH 1ST HIGH VALUE IS 395.22665c ON 11080324: AT (679496.50, 7481616.50, 0.00, 0.00) GC UCART1

- *** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
- GP = GRIDPOLR
- DC = DISCCART
- DP = DISCPOLR
- BD = BOUNDARY

*** ISCST3 - VERSION 02035 ***

C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.

*** 12/05/21

*** 10:47:49

**MODELOPTs:

PAGE 23

CONC URBAN ELEV DFAULT

*** THE SUMMARY OF HIGHEST 24-HR RESULTS ***

** CONC OF CO IN MICROGRAMS/M**3 **

GROUP ID	DATE	AVERAGE CONC (YYMMDDHH)	NETWORK
ZELEV, ZFLAG)	OF TYPE	GRID-ID	RECEPTOR (XR, YR,

ALL HIGH 1ST HIGH VALUE IS 172.08672c ON 11100924: AT (677496.50, 7483616.50, 1.00, 0.00) GC UCART1

- *** RECEPTOR TYPES: GC = GRIDCART
- GP = GRIDPOLR
- DC = DISCCART
- DP = DISCPOLR
- BD = BOUNDARY

```

***      ISCST3      -      VERSION      02035      ***      ***
C:\Users\Priscila\Desktop\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL\ACG_GEE_MEDIA_NORMAL.
***      12/05/21      ***      ***      10:47:49
**MODELOPTs:      PAGE 24
CONC      URBAN ELEV      DFAULT

```

*** Message Summary : ISCST3 Model Execution ***

----- Summary of Total Messages -----

```

A Total of      0 Fatal Error Message(s)
A Total of      0 Warning Message(s)
A Total of      622 Informational Message(s)

A Total of      622 Calm Hours Identified

```

```

***** FATAL ERROR MESSAGES *****
*** NONE ***

```

```

***** WARNING MESSAGES *****
*** NONE ***

```

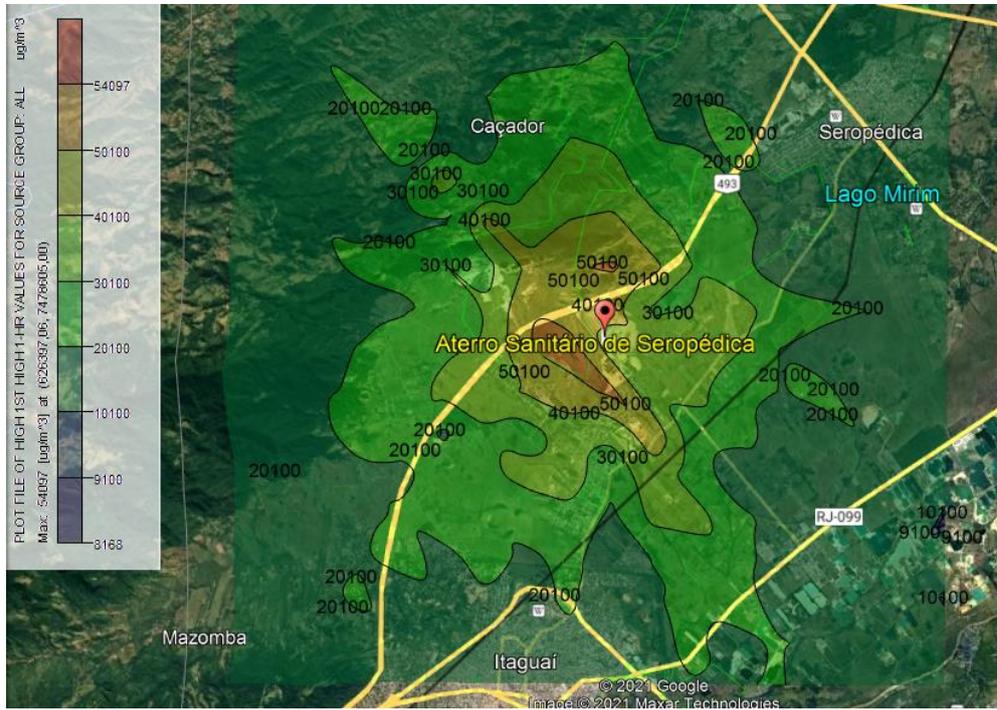
```

*****
*** ISCST3 Finishes Successfully ***
*****

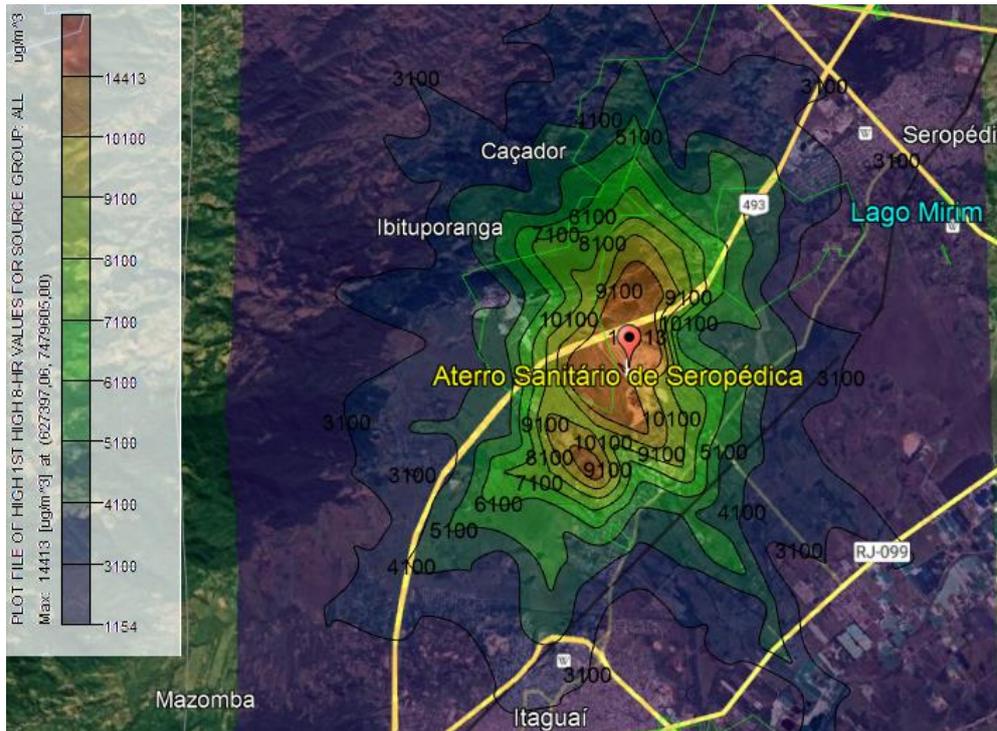
```

APENDICE V – PLUMAS DE DISPERSÃO DO ASS

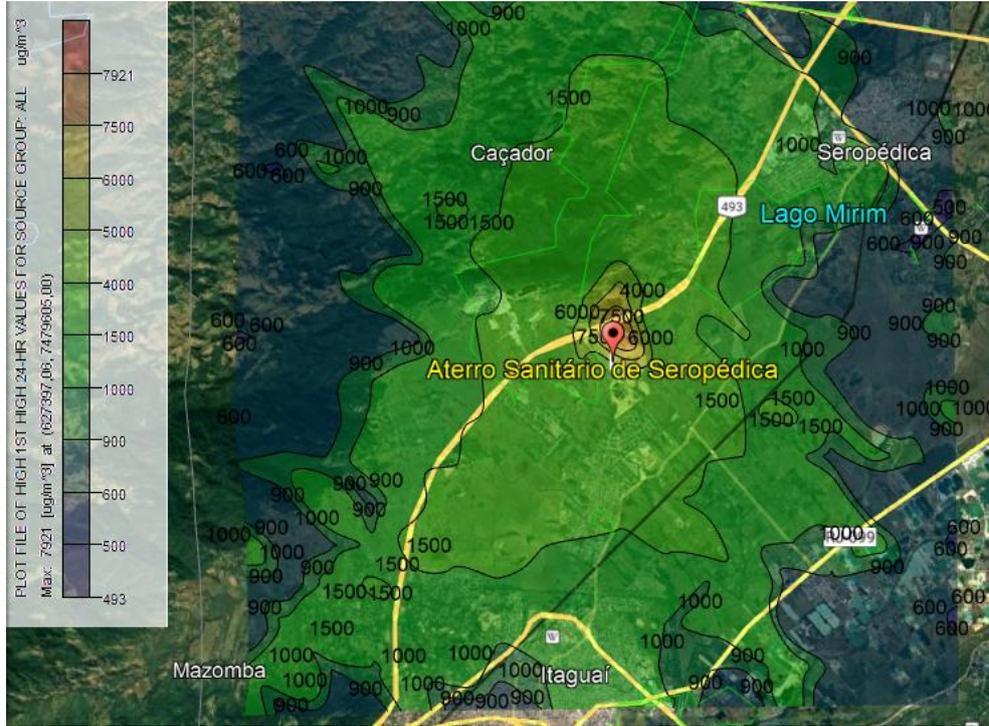
ASS - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 1H



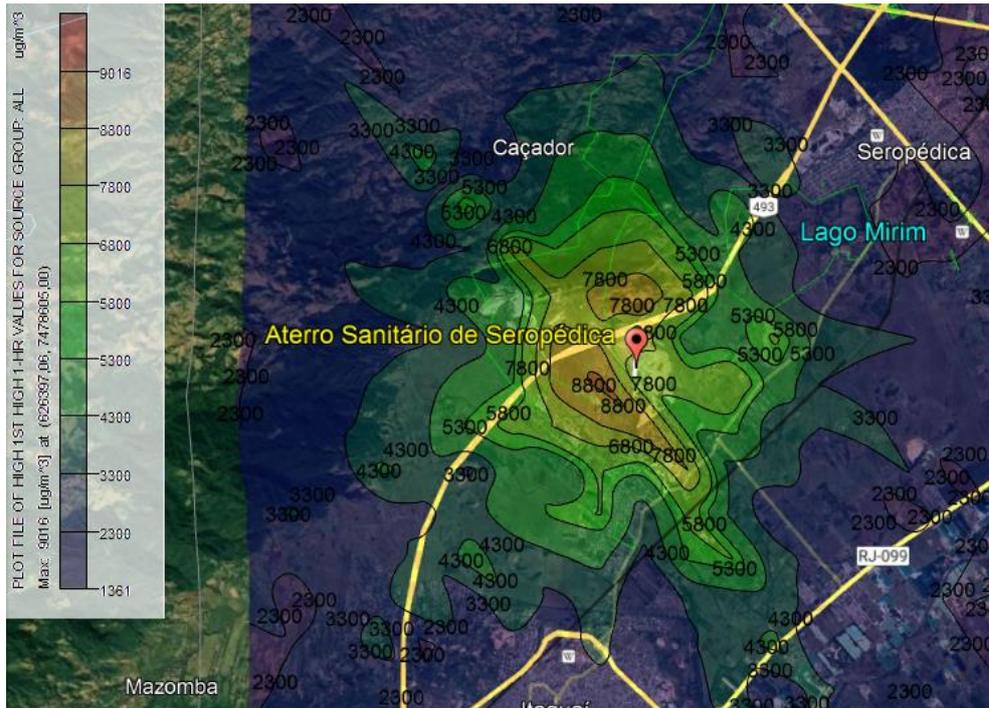
ASS - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 8H



ASS - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 24H



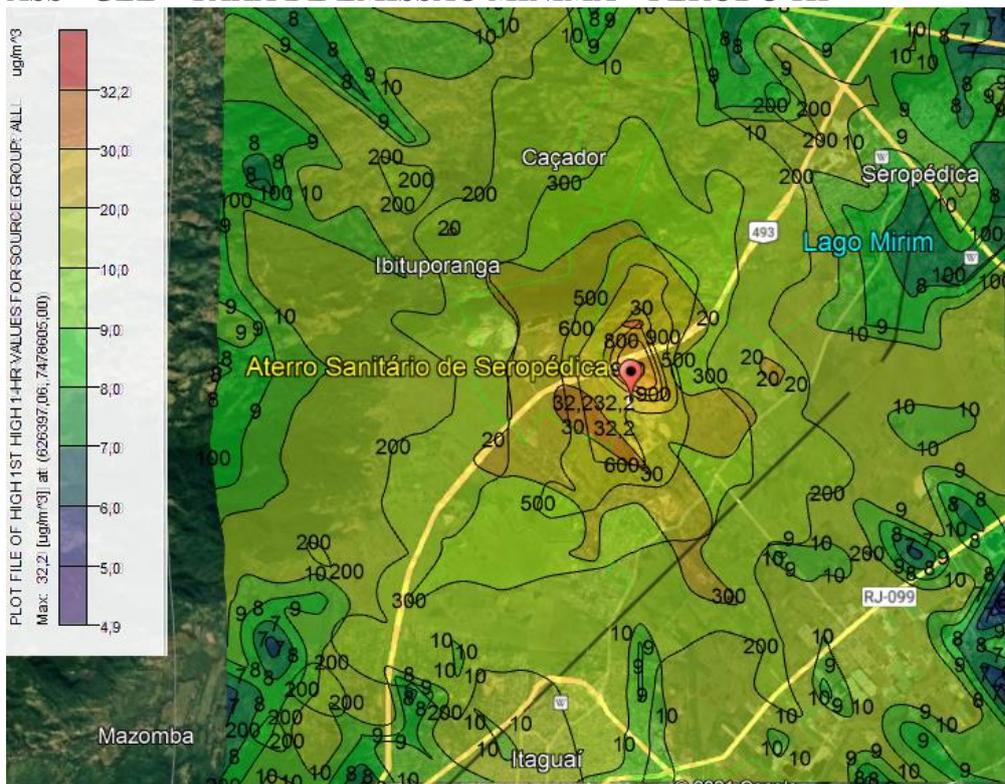
ASS - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 1H



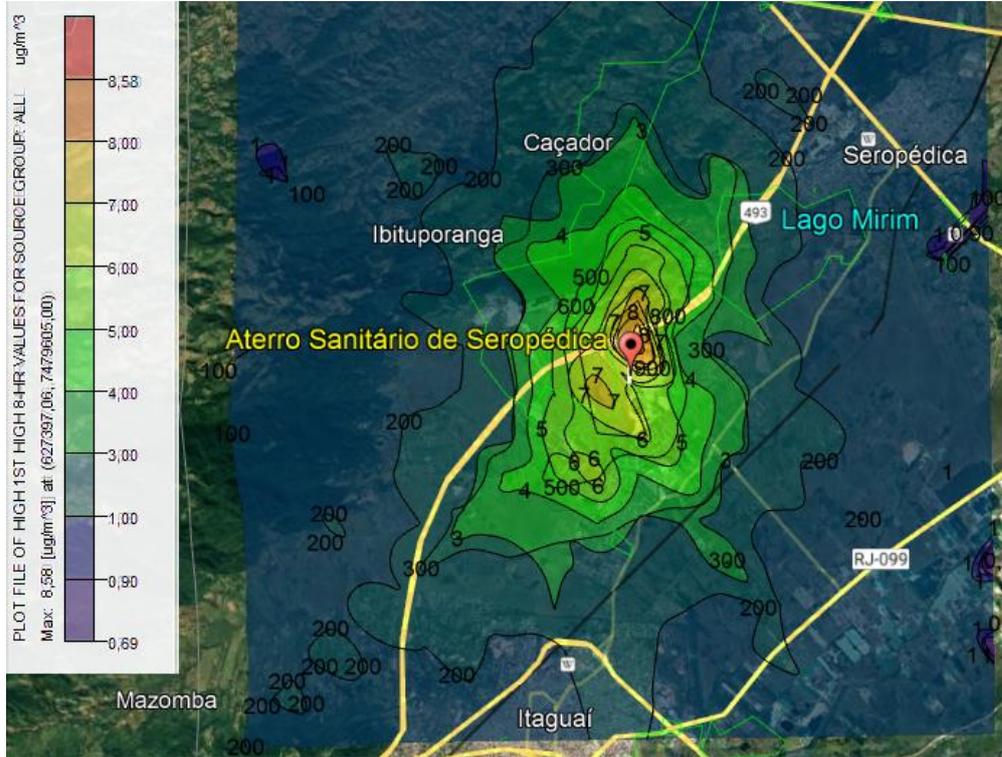
ASS - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 24H



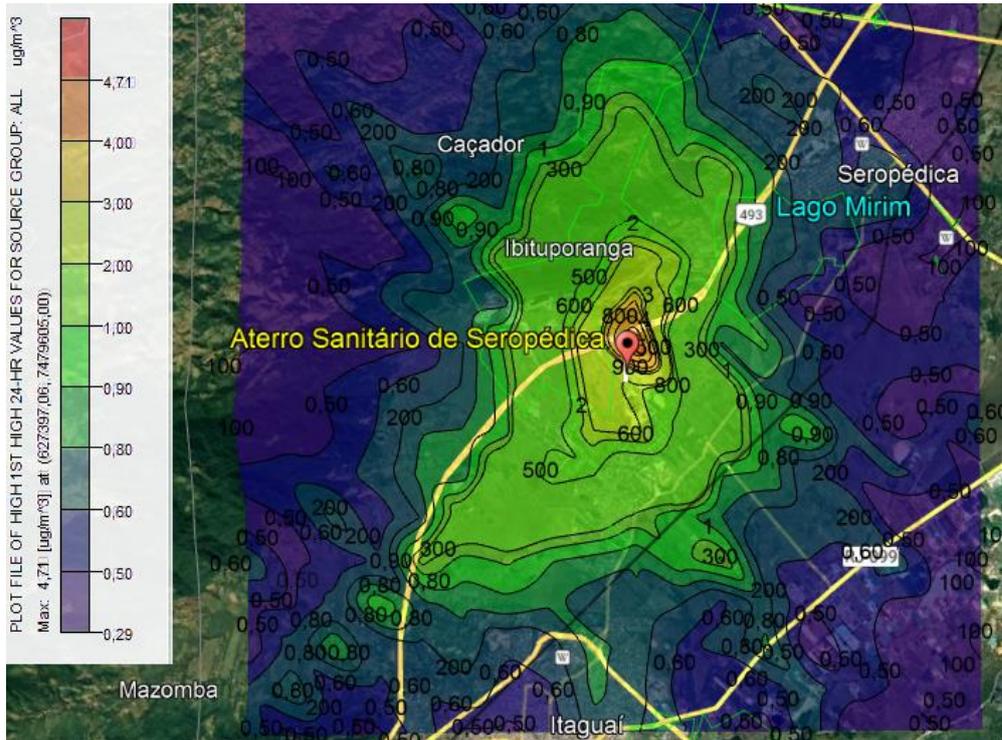
ASS - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 1H



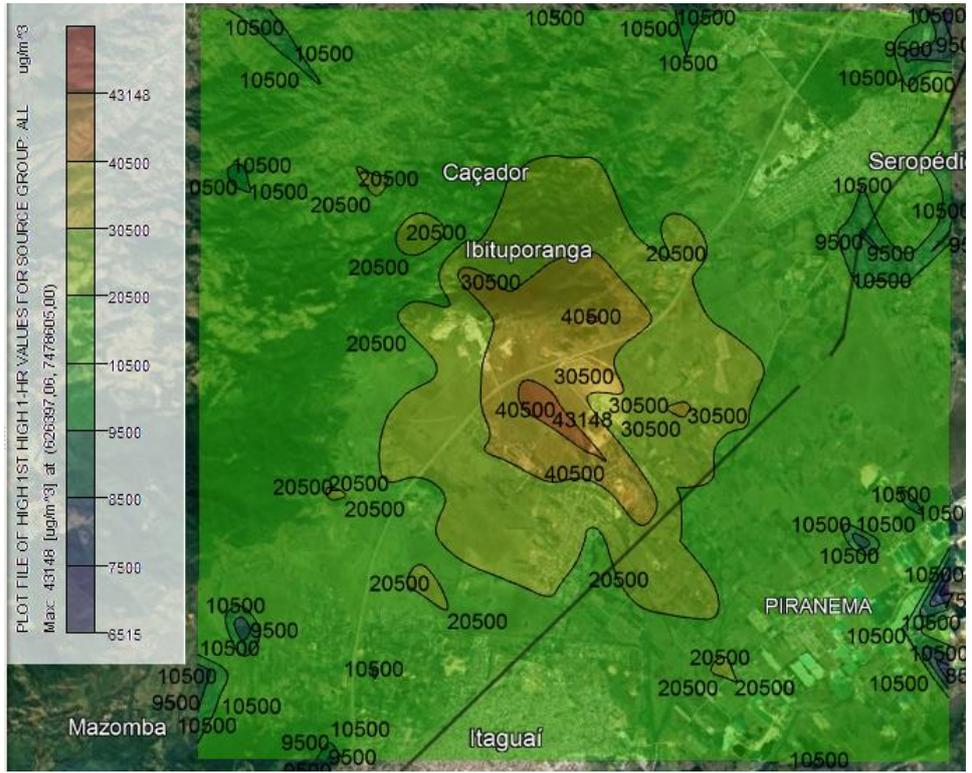
ASS - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 8H



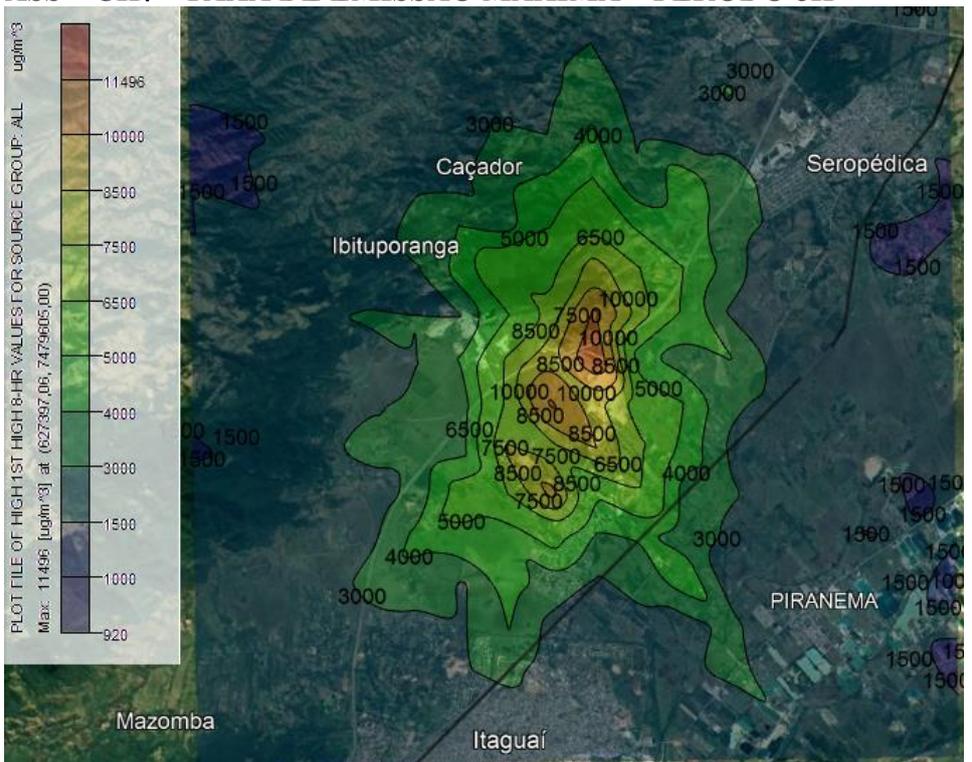
ASS - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 24H



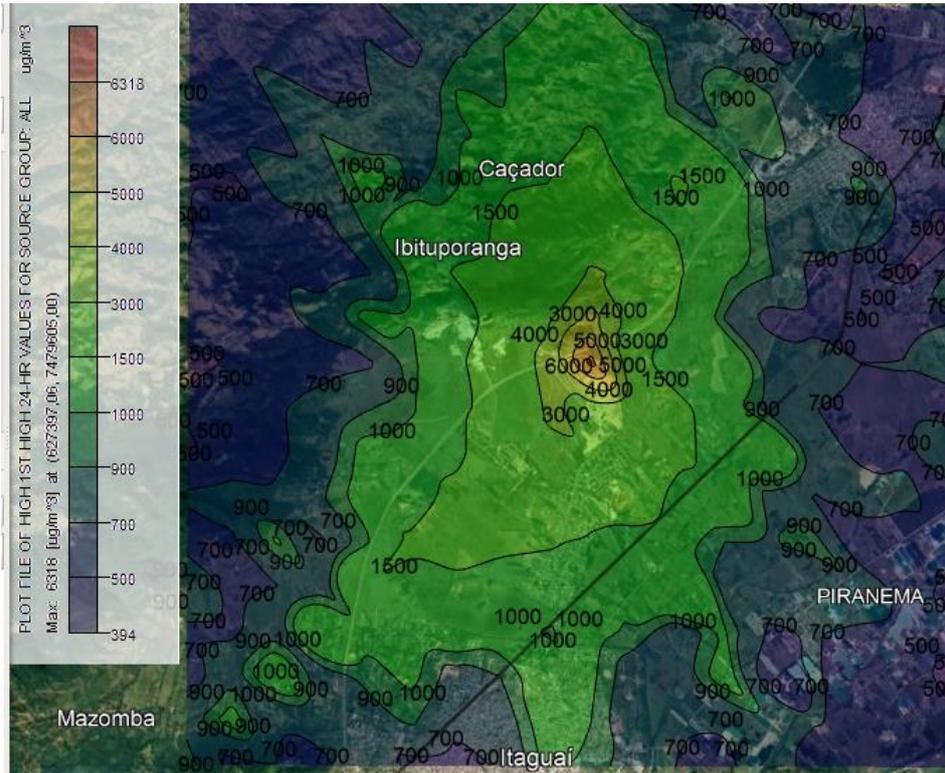
ASS – CH₄ – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 1H



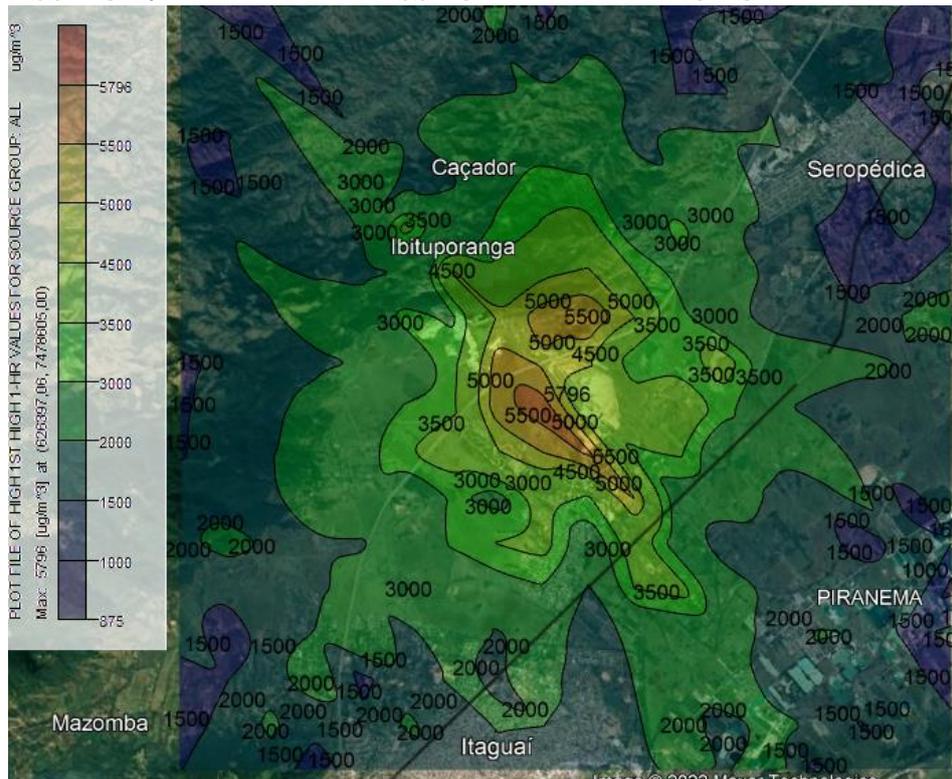
ASS – CH₄ – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 8H



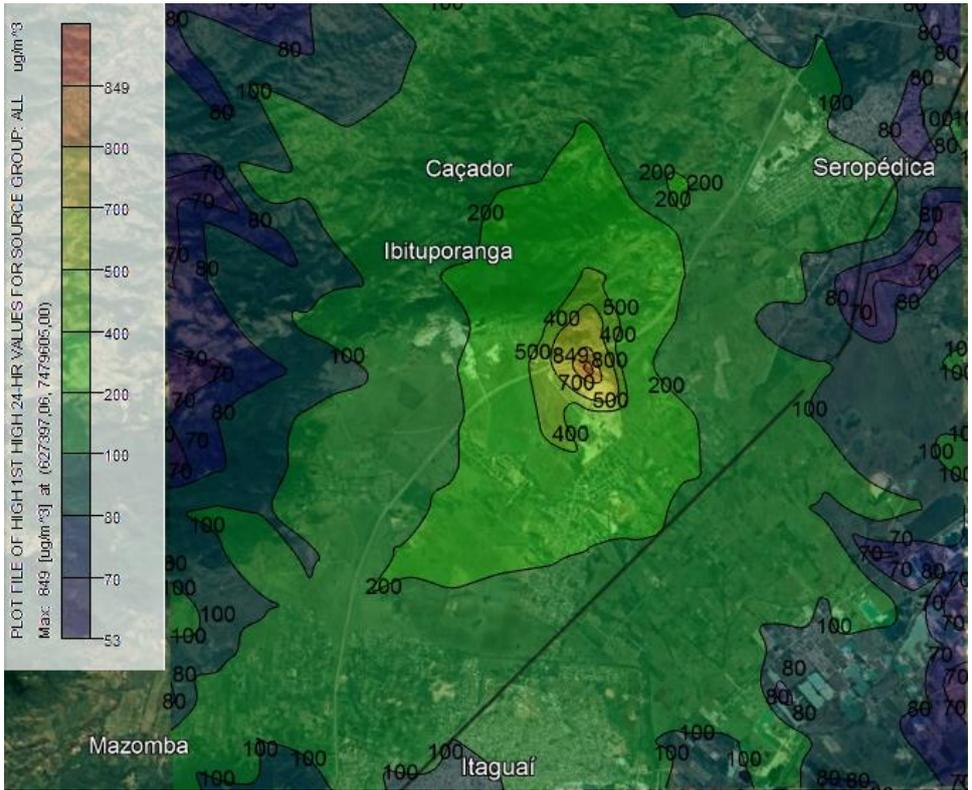
ASS – CH₄ – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 24H



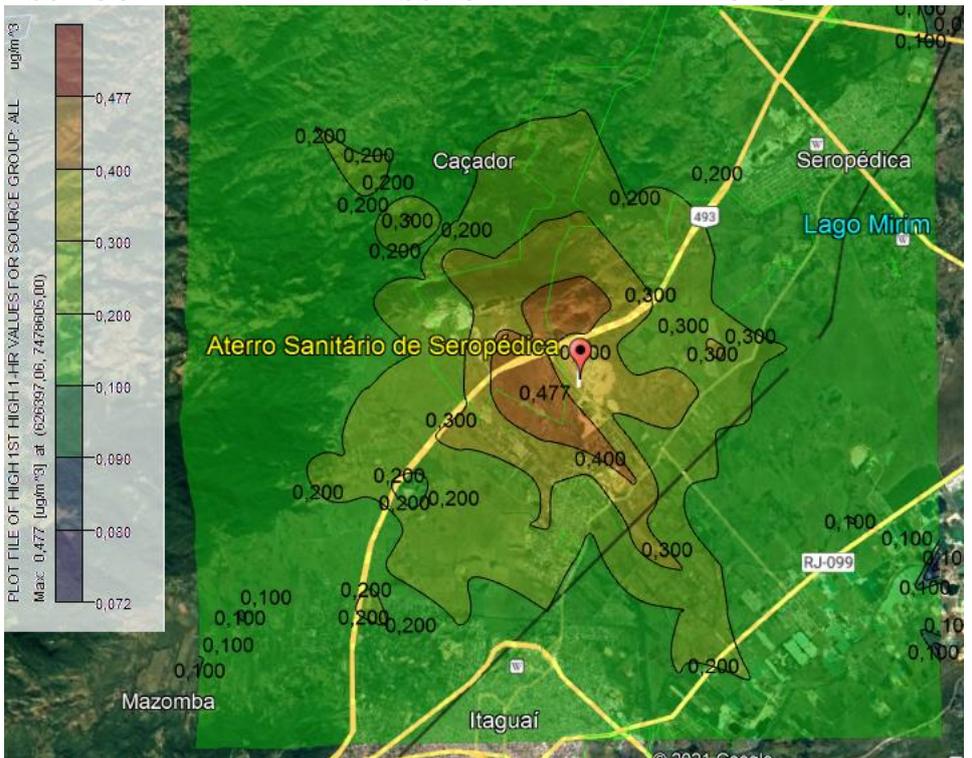
ASS – CH₄ – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 1H



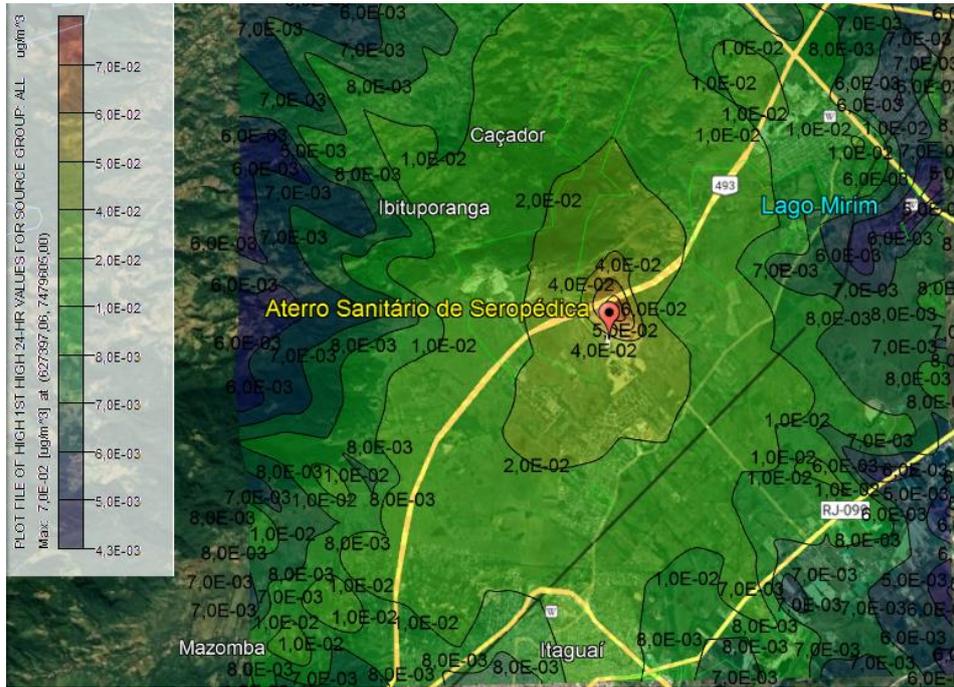
ASS – CH₄ – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 24H



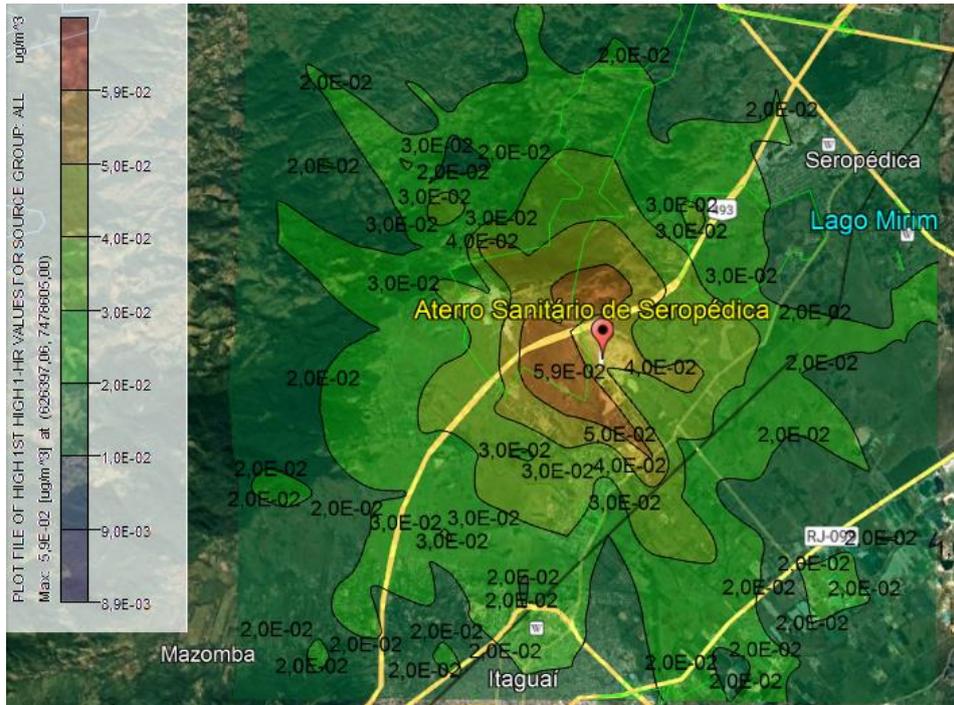
ASS - COV – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 1H



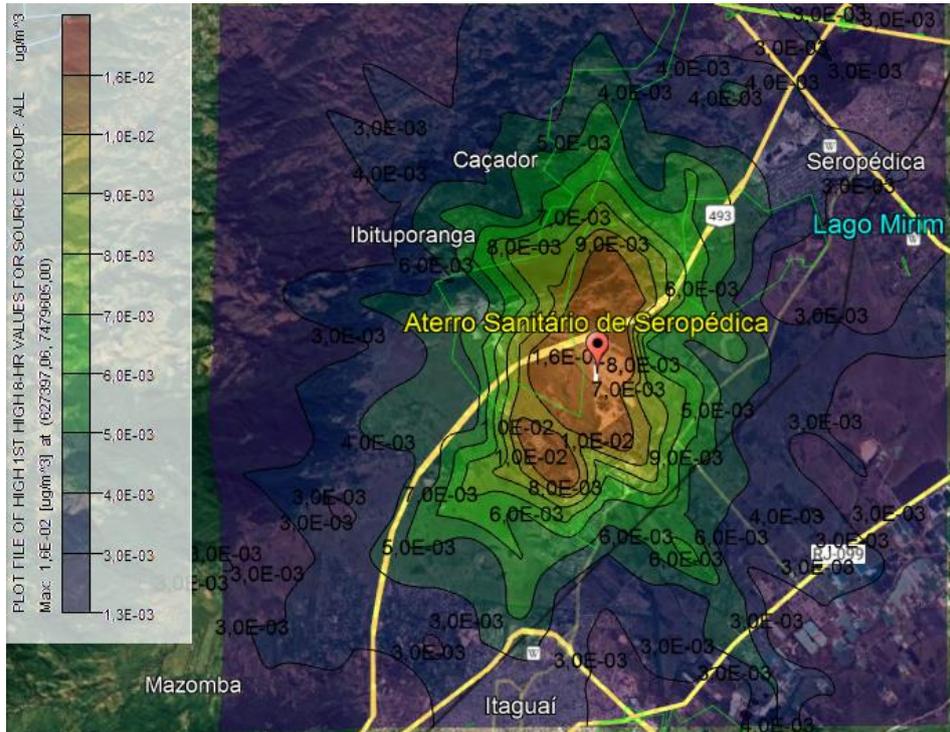
ASS - COV – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 24H



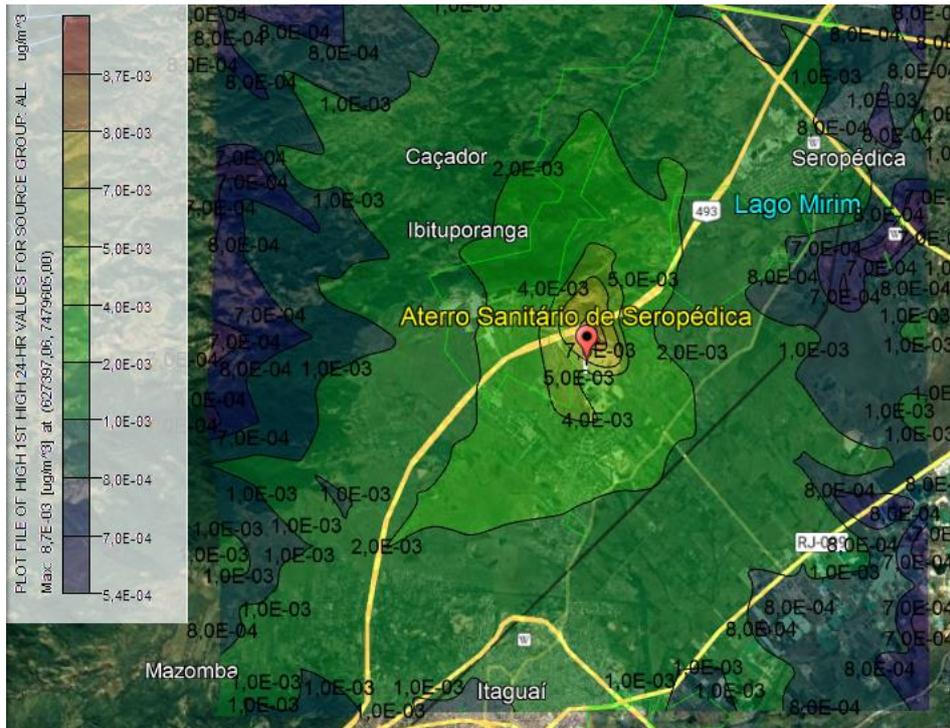
ASS - COV – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 1H



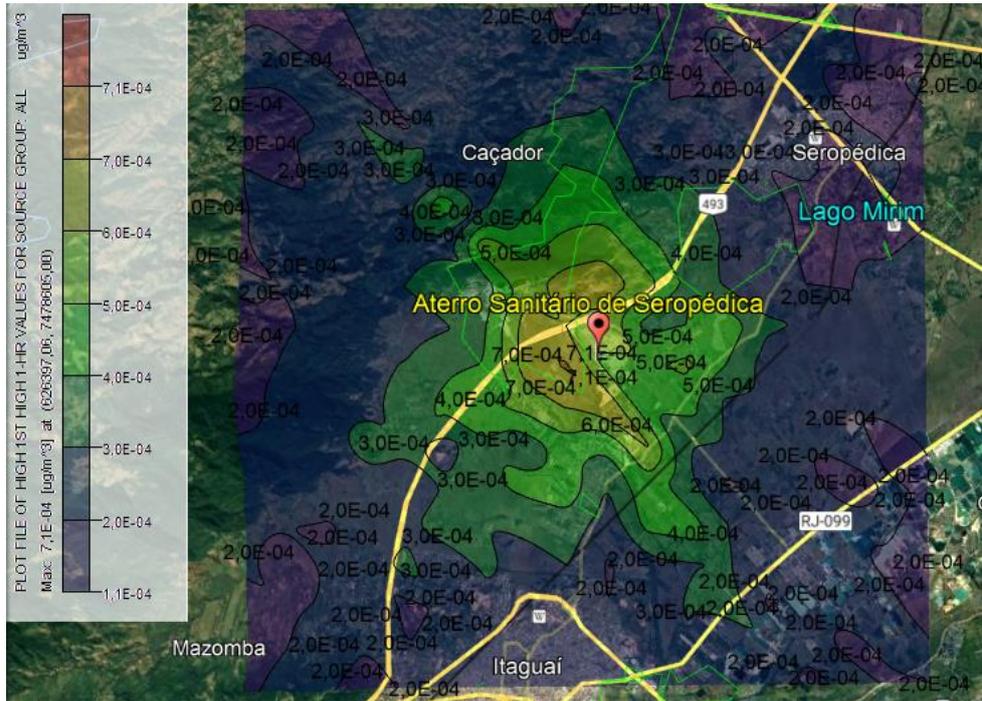
ASS - COV – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 8H



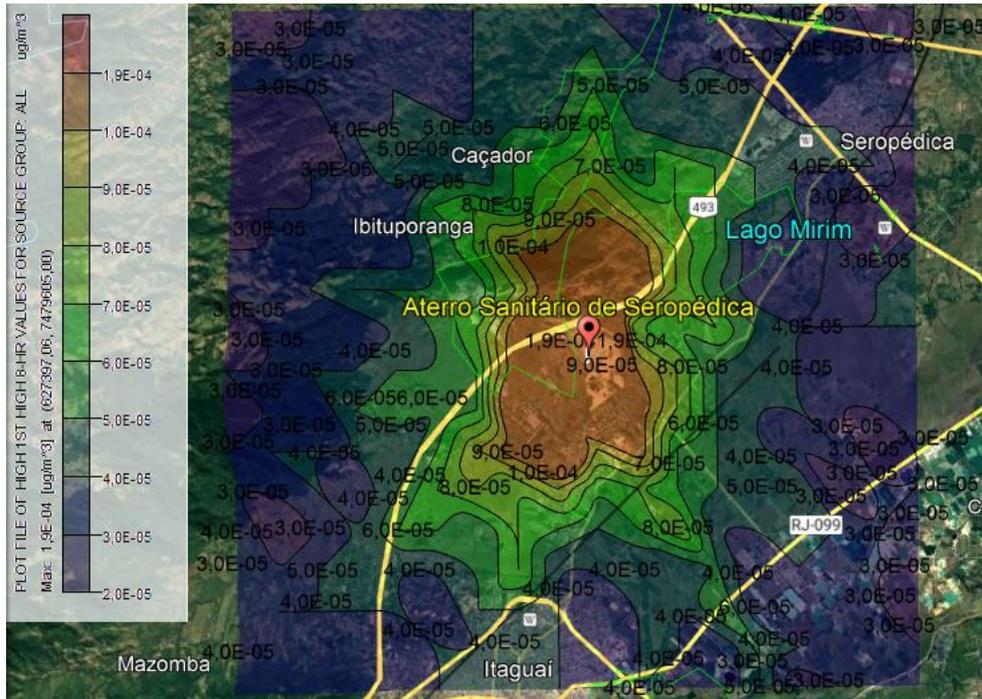
ASS - COV – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 24H



ASS - COV – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 1H



ASS - COV – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 8H



ASS - COV – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 24H



APENDICE VI – RESULTADOS DE EMISSÃO DO ACG

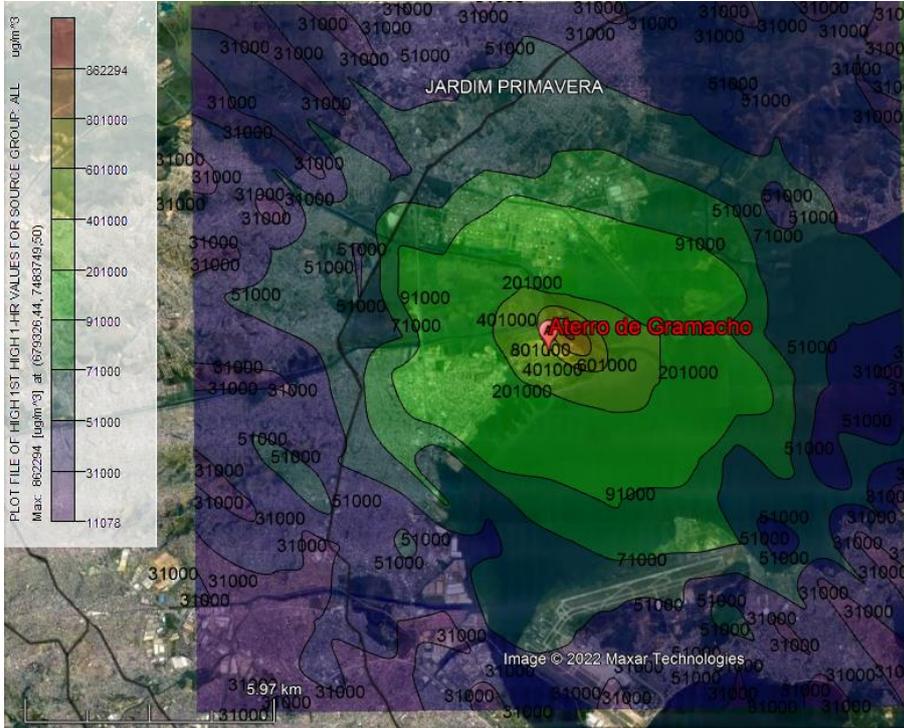
Data de coleta	Ponto	Taxa de emissão			
		CO (g m ⁻² dia ⁻¹)	CO ₂ (g m ⁻² dia ⁻¹)	CH ₄ (g m ⁻² dia ⁻¹)	N ₂ O (mg m ⁻² dia ⁻¹)
Jan/2011	P1	8,22	879,89	455,43	220,84
Jan/2011	P2	6,97	794,18	420,19	412,48
Jan/2011	P3	6,27	890,61	425,60	462,92
Jan/2011	P4	7,68	934,77	449,23	326,78
Fev/2011	P5	6,43	928,77	430,25	371,38
Fev/2011	P6	6,82	936,06	442,00	290,42
Fev/2011	P7	5,03	925,95	425,99	357,89
Fev/2011	P8	6,85	968,01	452,00	316,65
Mar/2011	P9	4,79	858,73	423,83	564,18
Mar/2011	P10	4,83	810,12	427,58	308,46
Mar/2011	P11	6,63	837,89	425,75	386,29
Mar/2011	P12	7,97	874,79	406,43	433,85
Abr/2011	P13	4,24	864,74	418,83	429,26
Abr/2011	P14	5,27	868,72	434,86	417,46
Abr/2011	P15	5,67	819,87	427,58	284,72
Abr/2011	P16	4,36	860,91	418,39	525,11
Mai/2011	P17	5,25	769,32	413,83	514,81
Mai/2011	P18	5,40	818,75	417,23	384,26
Mai/2011	P19	3,21	743,68	398,20	457,39
Mai/2011	P20	4,33	814,68	404,34	333,22
Jun/2011	P21	4,43	900,16	409,13	564,23
Jun/2011	P22	2,98	762,35	417,14	522,72
Jun/2011	P23	4,36	774,24	387,19	657,56
Jun/2011	P24	4,41	842,12	400,16	520,71
Jun/2011	P25	5,25	877,67	409,43	468,16
Jul/2011	P26	5,24	877,49	411,18	347,93
Jul/2011	P27	3,54	891,79	413,67	284,16
Jul/2011	P28	4,86	790,17	407,39	485,74
Jul/2011	P29	5,42	848,80	414,67	346,27
Ago/2011	P30	4,97	908,94	408,84	399,07
Ago/2011	P31	5,12	859,23	403,70	330,48
Ago/2011	P32	6,42	901,94	435,85	209,82
Ago/2011	P33	3,67	796,60	418,73	515,39
Ago/2011	P34	2,83	751,29	412,79	551,13
Set/2011	P35	2,99	747,00	396,25	659,59
Set/2011	P36	6,81	899,25	423,05	349,88
Set/2011	P37	3,77	748,96	416,00	423,24
Out/2011	P38	6,91	840,20	417,95	597,88
Out/2011	P39	6,09	755,80	419,19	396,05
Out/2011	P40	6,42	767,01	421,58	500,77
Nov/2011	P41	6,70	874,85	423,18	564,42
Nov/2011	P42	6,23	846,99	430,87	383,52
Nov/2011	P43	5,93	845,52	415,14	323,28
Nov/2011	P44	6,27	911,98	427,54	334,60
Dez/2011	P45	4,94	949,22	441,02	409,71
Dez/2011	P46	6,92	939,99	422,50	412,73
Dez/2011	P47	6,60	992,57	481,99	249,36
Dez/2011	P48	6,25	827,10	419,78	525,78
Mínimo		2,83	743,68	387,19	209,82

Data de coleta	Ponto	Taxa de emissão			
		CO (g m ⁻² dia ⁻¹)	CO ₂ (g m ⁻² dia ⁻¹)	CH ₄ (g m ⁻² dia ⁻¹)	N ₂ O (mg m ⁻² dia ⁻¹)
Média		5,47	852,70	421,32	419,43
Máximo		8,22	992,57	481,99	659,59

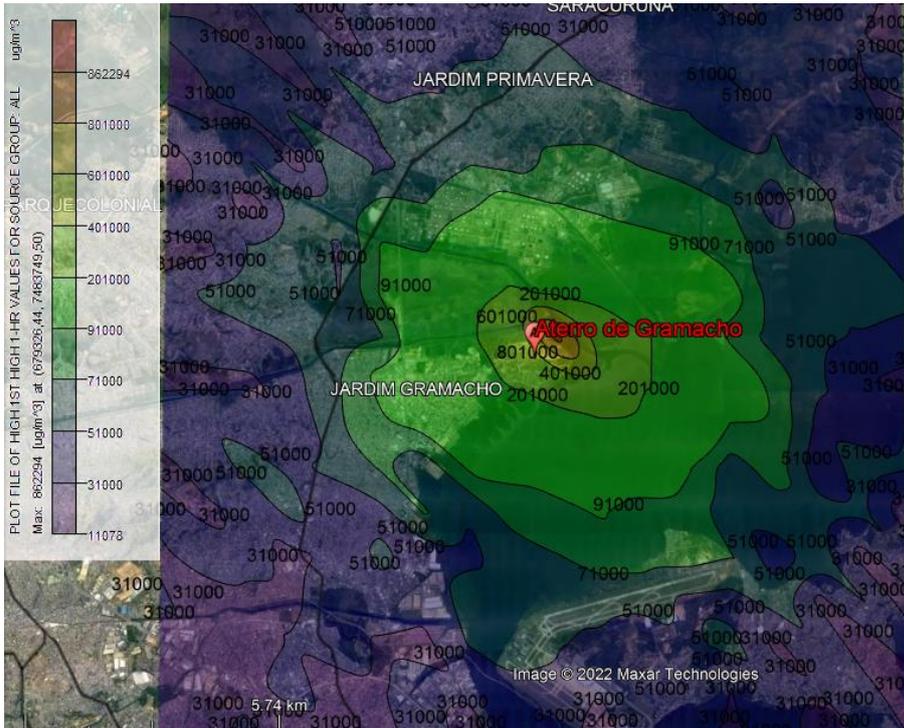
Data de coleta	Ponto	Taxa de emissão ($\mu\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)					
		HC	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m+p – Xilenos	o – Xileno
Jan/2011	P1	1,99	21,52	706,3	320,3	125,45	45,10
Jan/2011	P2	1,49	16,25	554,8	237,2	85,94	34,08
Jan/2011	P3	1,89	25,80	732,5	332,7	122,34	37,47
Jan/2011	P4	2,28	22,00	657,0	296,2	118,88	36,78
Fev/2011	P5	1,52	19,17	582,3	268,0	95,49	39,67
Fev/2011	P6	1,38	16,31	549,2	253,6	79,80	33,28
Fev/2011	P7	1,31	14,65	655,0	278,3	119,47	40,64
Fev/2011	P8	2,02	16,78	628,0	240,4	96,95	35,39
Mar/2011	P9	1,48	19,31	704,0	244,7	115,47	44,03
Mar/2011	P10	1,16	16,34	690,4	203,6	98,31	33,80
Mar/2011	P11	1,62	21,60	688,9	251,5	119,71	39,40
Mar/2011	P12	1,60	18,05	648,1	229,2	115,62	46,57
Abr/2011	P13	1,43	16,61	617,9	238,5	100,56	35,54
Abr/2011	P14	1,78	20,33	754,1	252,5	131,60	42,36
Abr/2011	P15	1,38	19,45	734,9	223,7	133,01	48,81
Abr/2011	P16	1,74	20,37	676,2	260,2	128,47	41,45
Mai/2011	P17	1,57	17,94	693,6	210,1	109,17	37,91
Mai/2011	P18	1,42	20,54	689,6	263,6	116,01	43,57
Mai/2011	P19	1,23	17,09	689,9	220,1	126,03	47,14
Mai/2011	P20	1,37	10,58	491,0	177,9	55,87	27,41
Jun/2011	P21	1,43	15,02	610,5	223,9	98,49	36,68
Jun/2011	P22	1,50	15,79	601,0	227,4	96,67	36,96
Jun/2011	P23	0,83	14,17	640,2	230,5	104,51	43,35
Jun/2011	P24	1,67	17,81	594,4	254,3	102,96	33,07
Jun/2011	P25	1,79	15,64	652,6	228,8	100,40	33,30
Jul/2011	P26	0,90	11,83	568,9	197,7	105,06	39,91
Jul/2011	P27	1,37	14,84	531,1	211,0	96,69	35,67
Jul/2011	P28	1,60	16,56	648,6	290,8	108,25	41,16
Jul/2011	P29	1,84	18,95	641,3	277,3	104,57	38,50
Ago/2011	P30	1,05	14,49	578,6	264,8	88,75	32,68
Ago/2011	P31	1,33	16,80	630,0	227,6	106,62	39,50
Ago/2011	P32	2,18	20,72	688,3	309,6	133,11	39,76
Ago/2011	P33	1,83	22,04	649,5	344,9	111,31	41,50
Ago/2011	P34	1,37	18,00	586,1	215,3	94,75	42,18
Set/2011	P35	1,43	18,16	649,1	226,4	97,51	44,59
Set/2011	P36	1,70	17,13	569,7	233	83,41	33,75
Set/2011	P37	1,66	18,59	650,6	240,2	108,01	38,05
Out/2011	P38	1,46	17,64	725,1	244,0	130,72	49,29
Out/2011	P39	1,50	15,63	661,5	259,1	90,45	38,21
Out/2011	P40	1,59	19,91	650,6	275,2	114,05	42,63
Nov/2011	P41	1,51	21,04	666,3	297,6	96,61	32,25
Nov/2011	P42	1,74	15,28	736,2	251,9	113,49	45,11
Nov/2011	P43	1,57	19,24	658,0	287,6	105,47	35,76
Nov/2011	P44	1,85	20,45	683,7	249,1	98,39	35,65
Dez/2011	P45	1,61	14,99	512,5	238,9	70,62	29,35
Dez/2011	P46	1,26	18,43	571,9	231,7	85,58	32,22
Dez/2011	P47	2,57	26,16	824,8	360,0	125,57	46,10
Dez/2011	P48	1,40	17,71	633,8	216,9	122,77	43,74
Mínimo		0,83	10,58	491,05	177,93	55,87	27,41
Média		1,57	17,99	644,98	252,46	106,02	38,99
Máximo		2,57	26,16	824,77	360,01	133,11	49,29

APENDICE VII – PLUMAS DE DISPERSÃO DO ACG

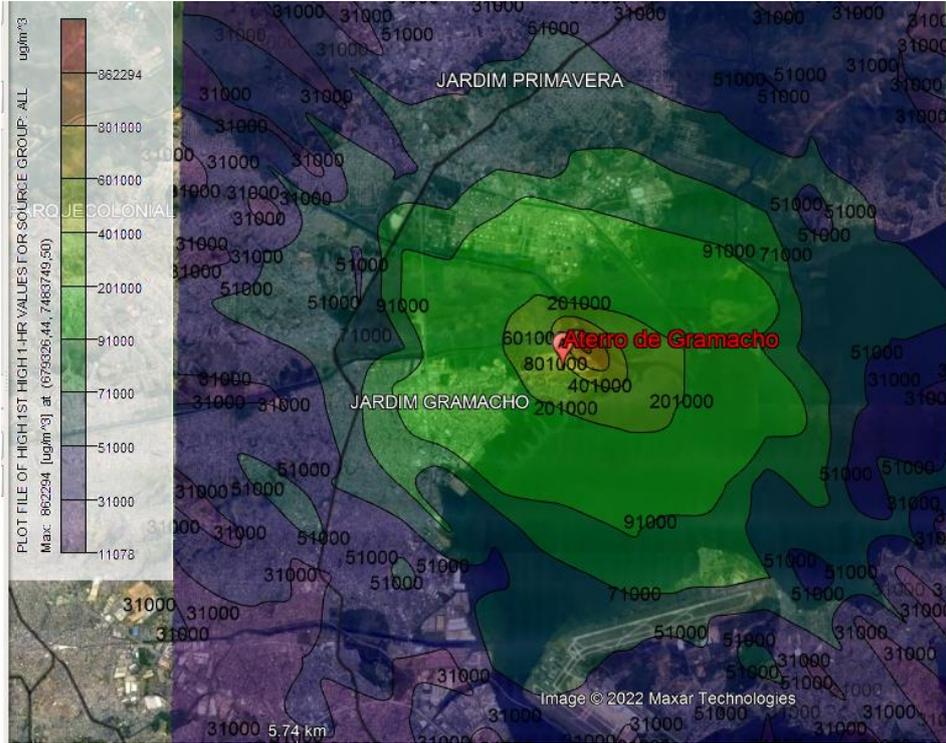
ACG - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 1H



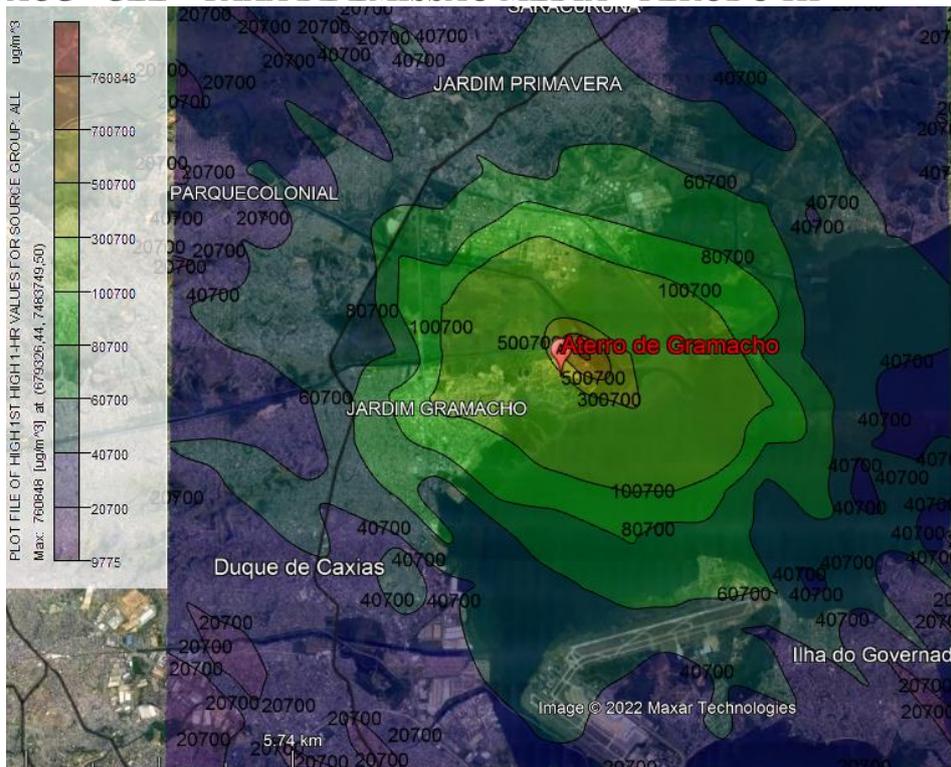
ACG - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 8H



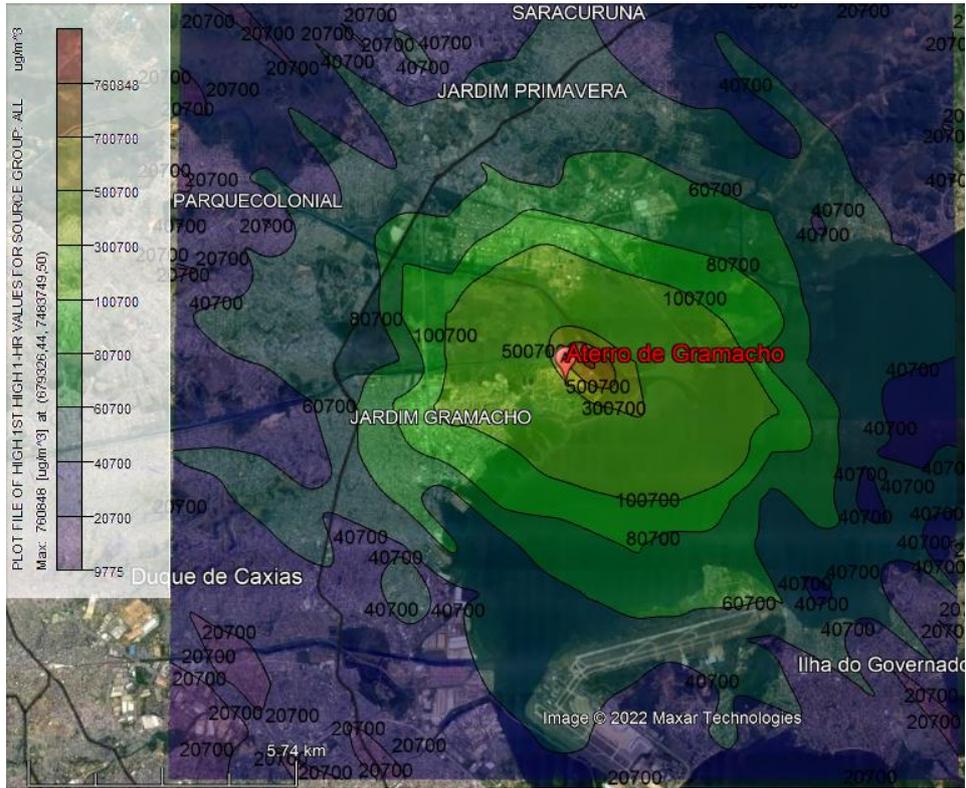
ACG - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 24H



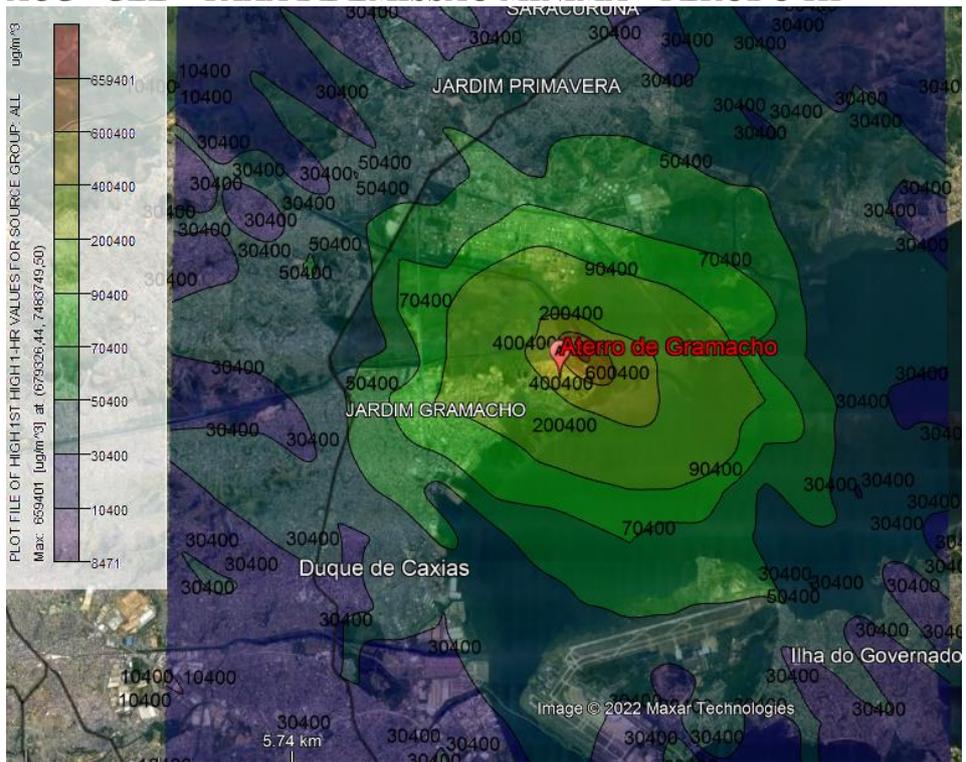
ACG - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 1H



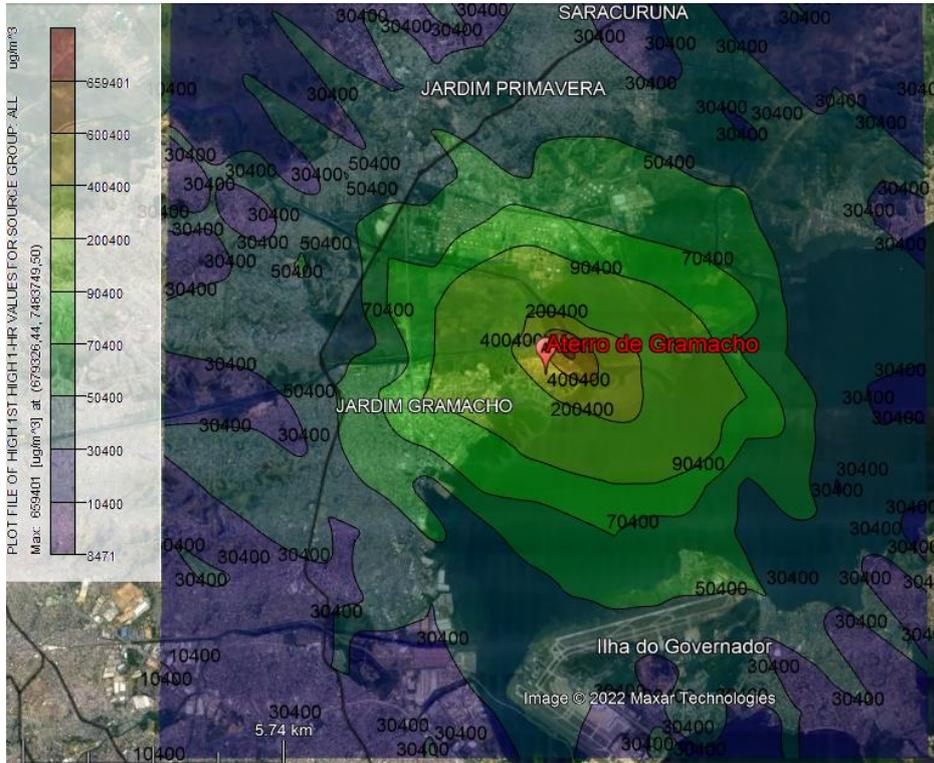
ACG - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 24H



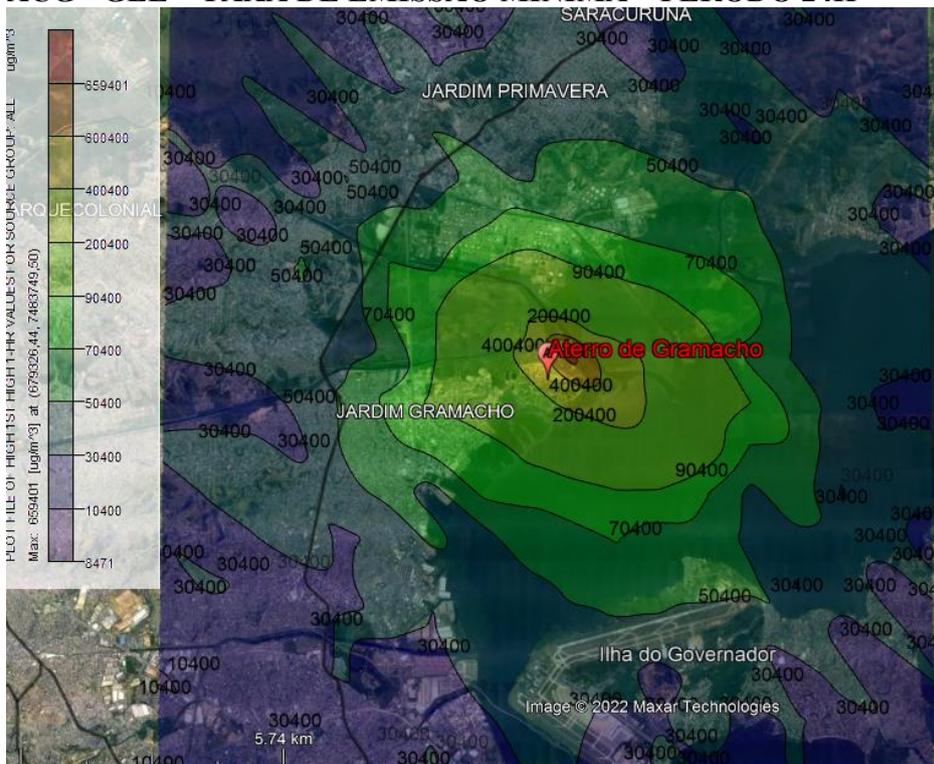
ACG - GEE – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 1H



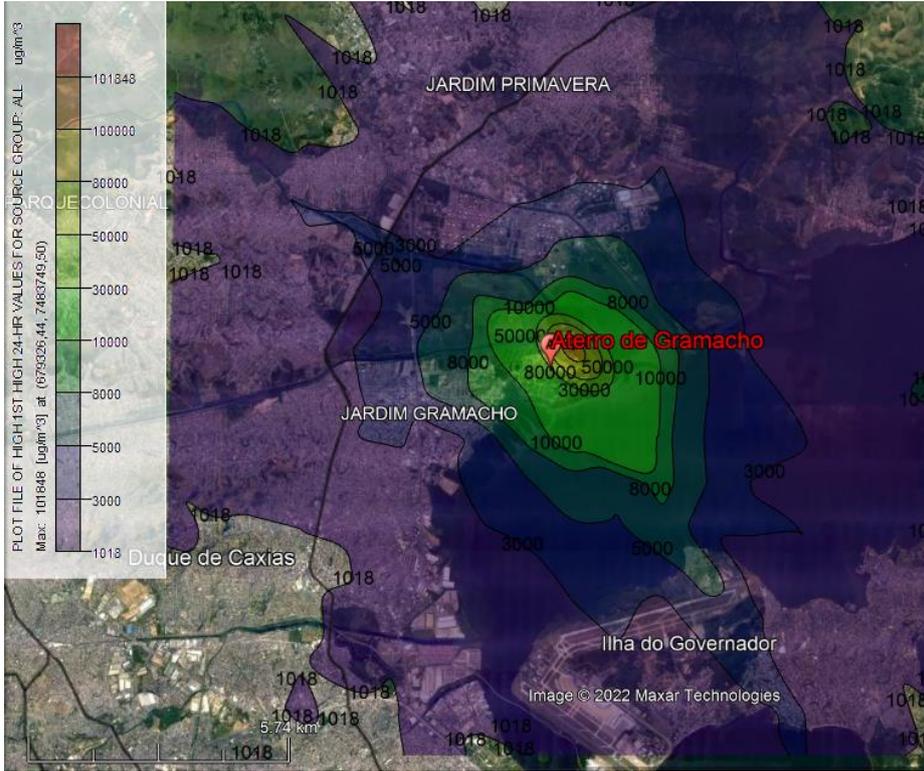
ACG - GEE - TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA - PERODO 8H



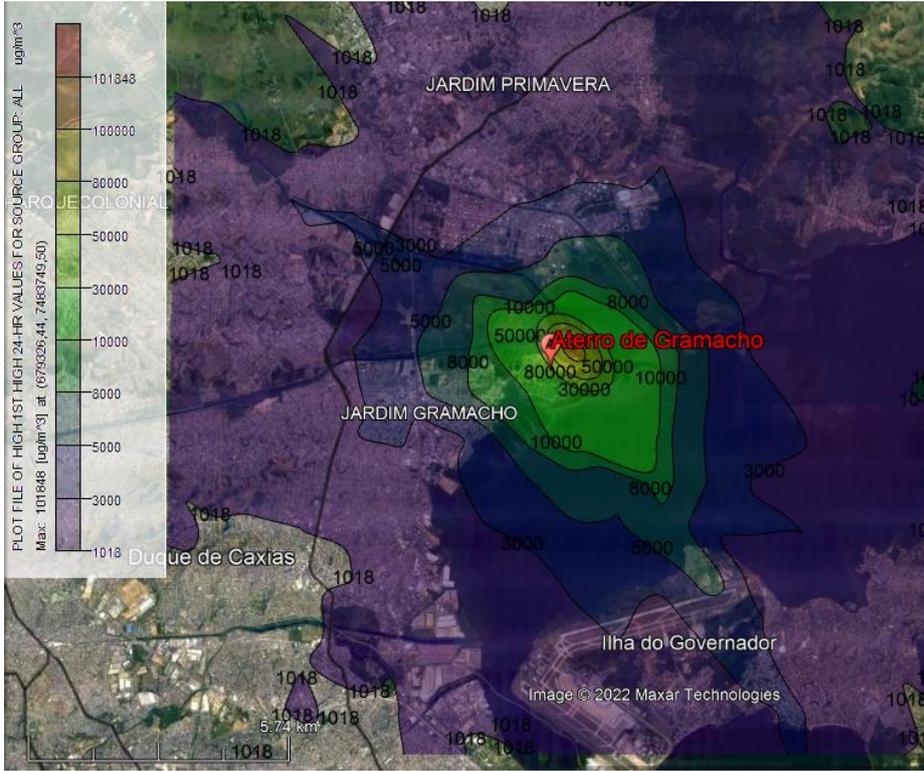
ACG - GEE - TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA - PERODO 24H



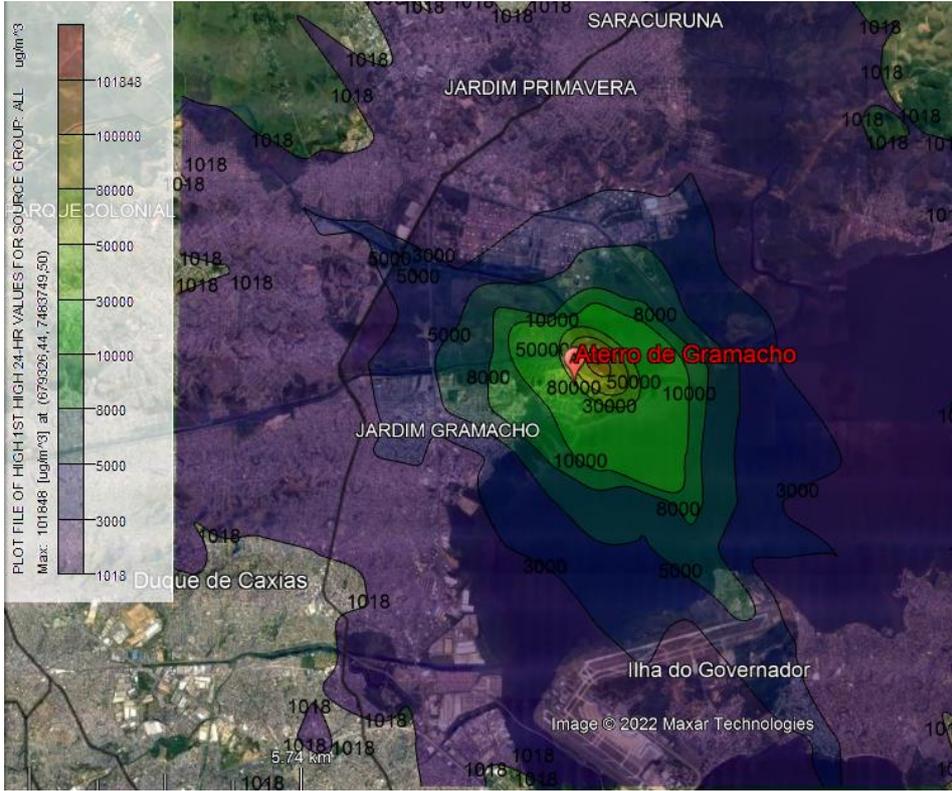
ACG – CH₄ – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 1H



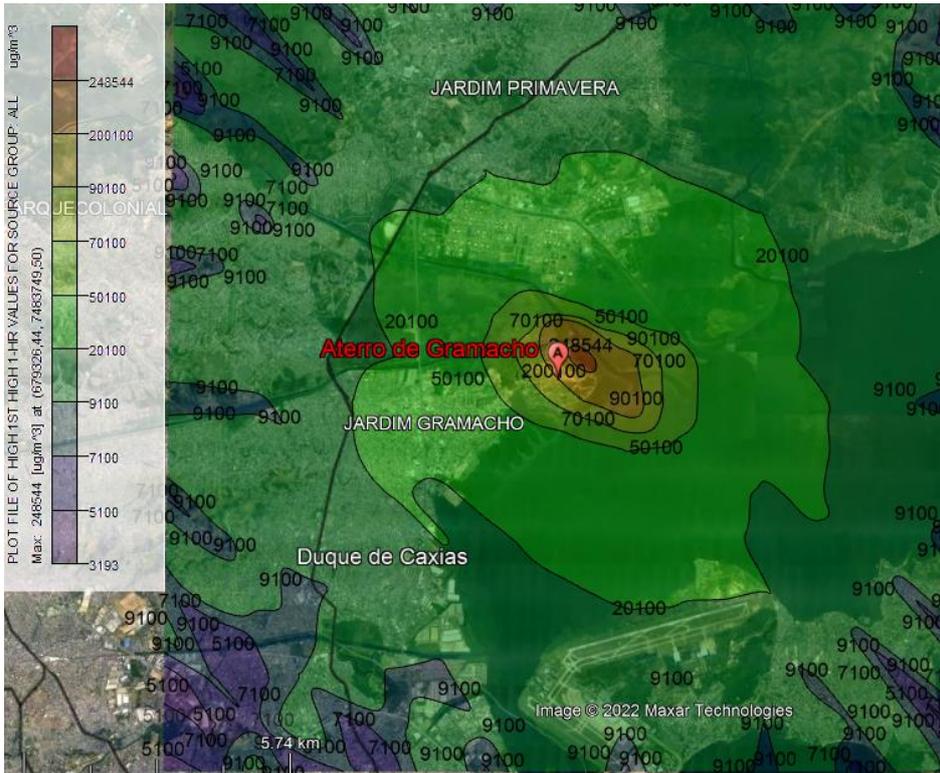
ACG – CH₄ – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 8H



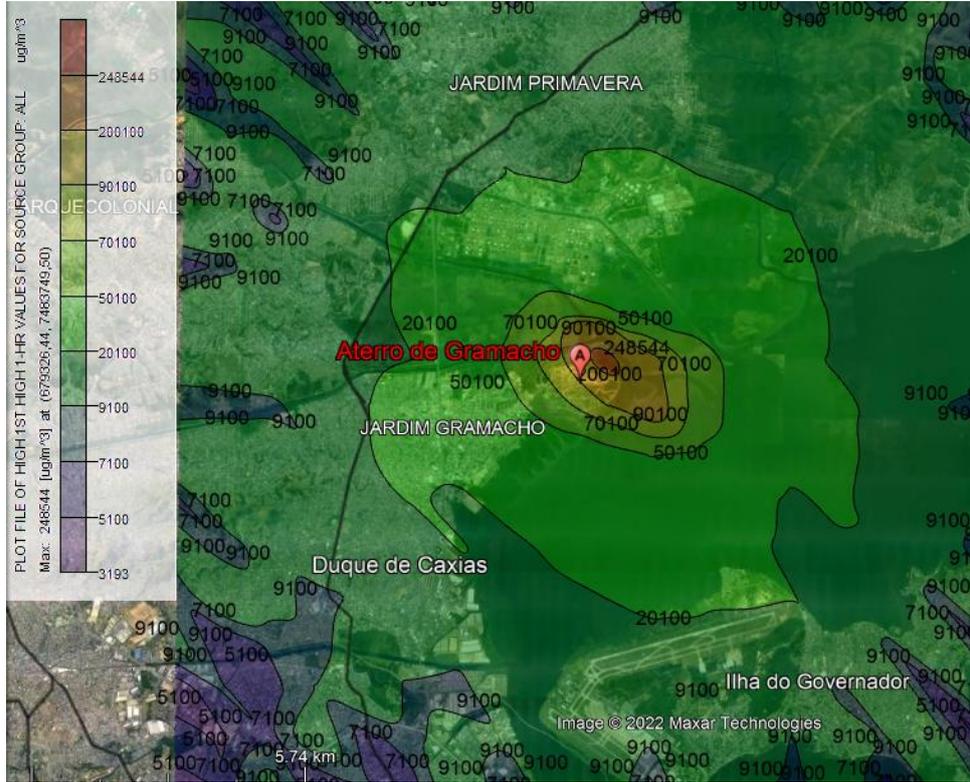
ACG – CH₄ – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 24H



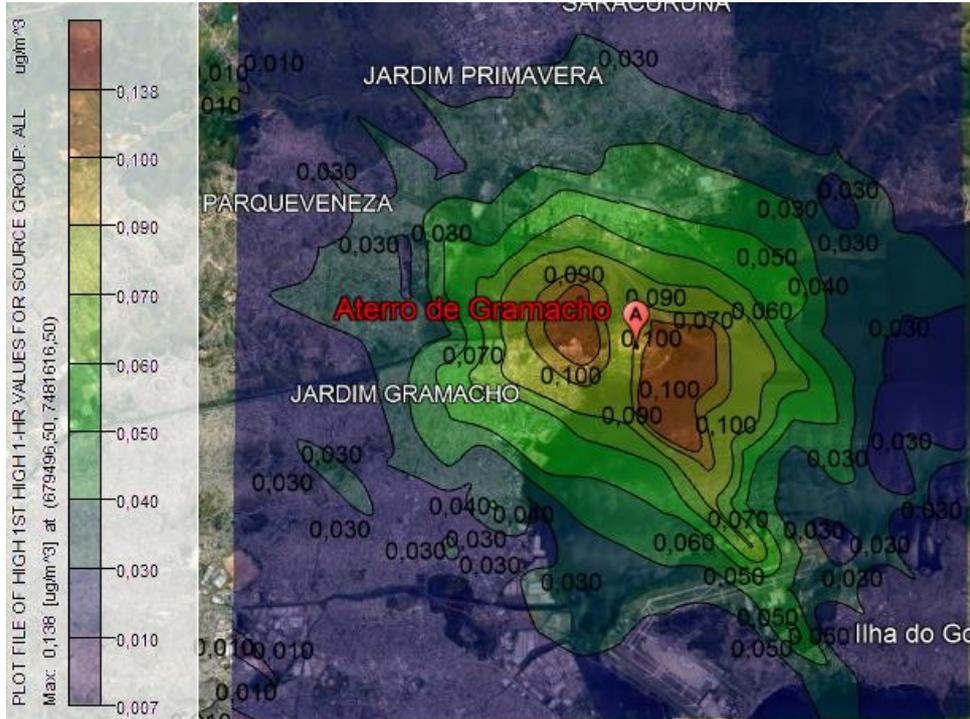
ACG – CH₄ – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 1H



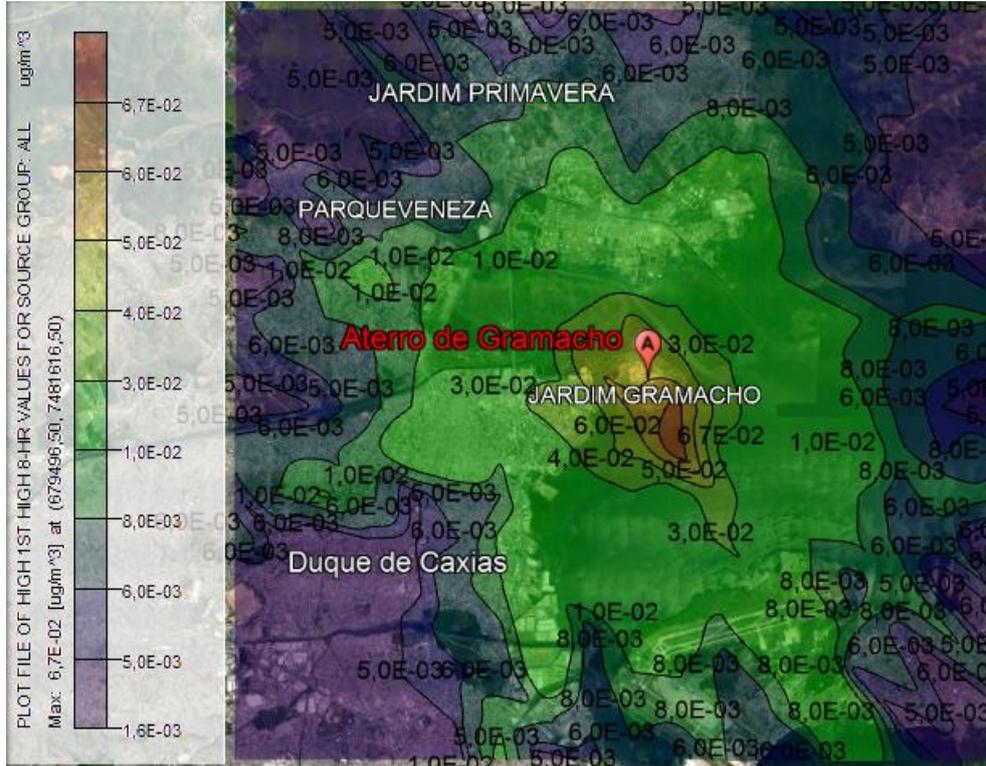
ACG – CH₄ – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 24H



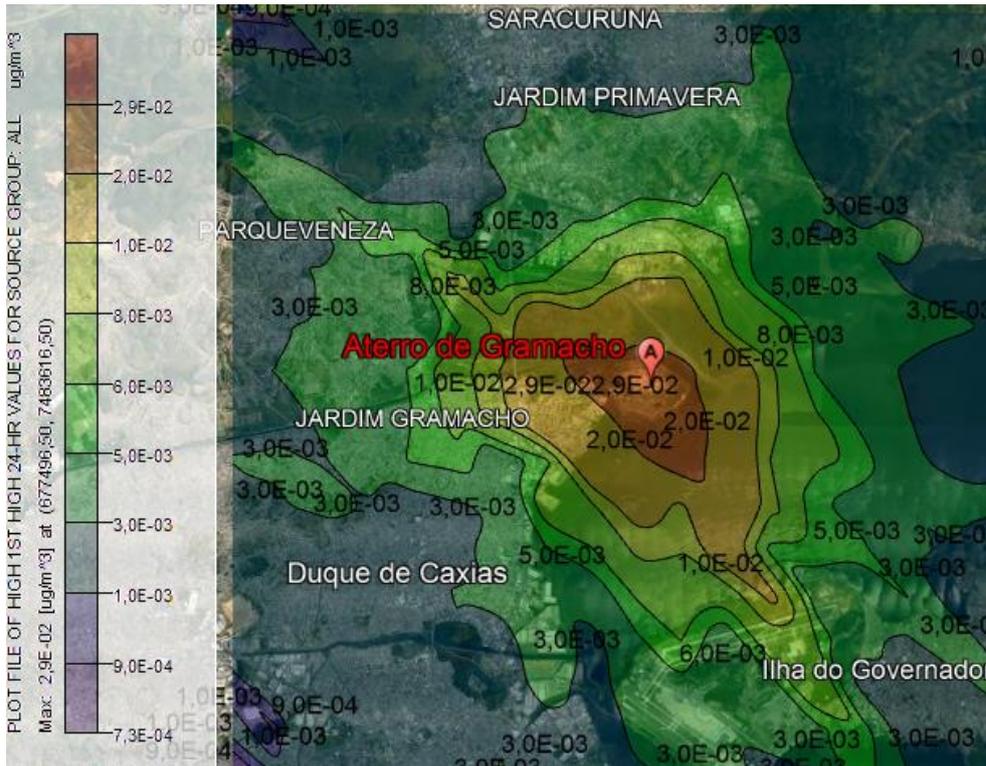
ACG - COV – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 1H



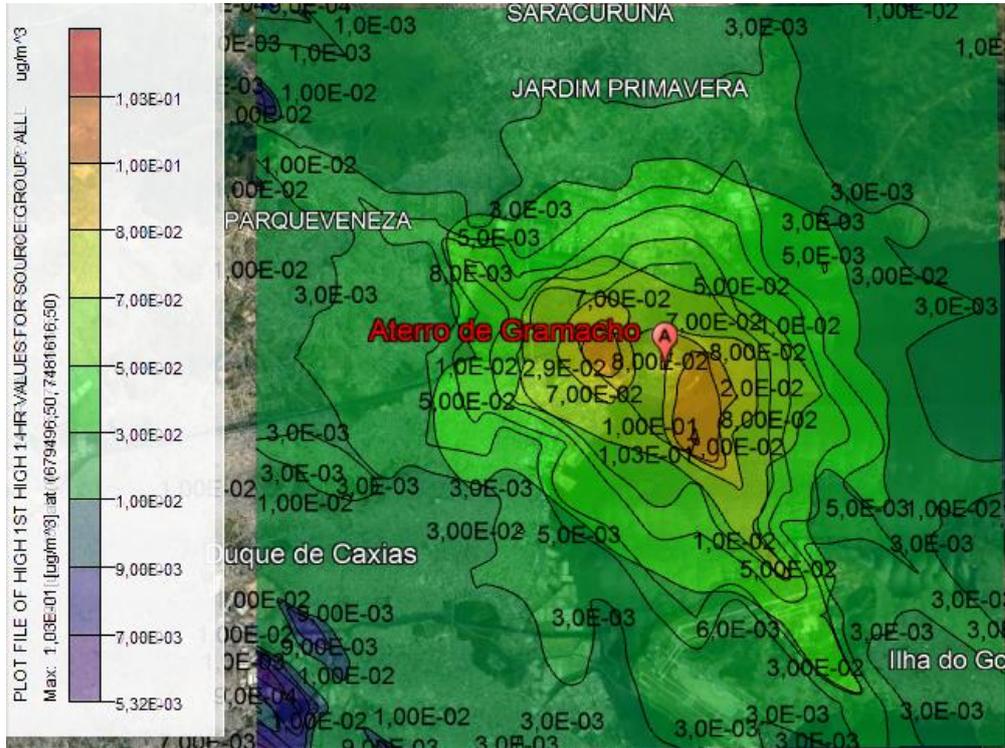
ACG - COV – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 8H



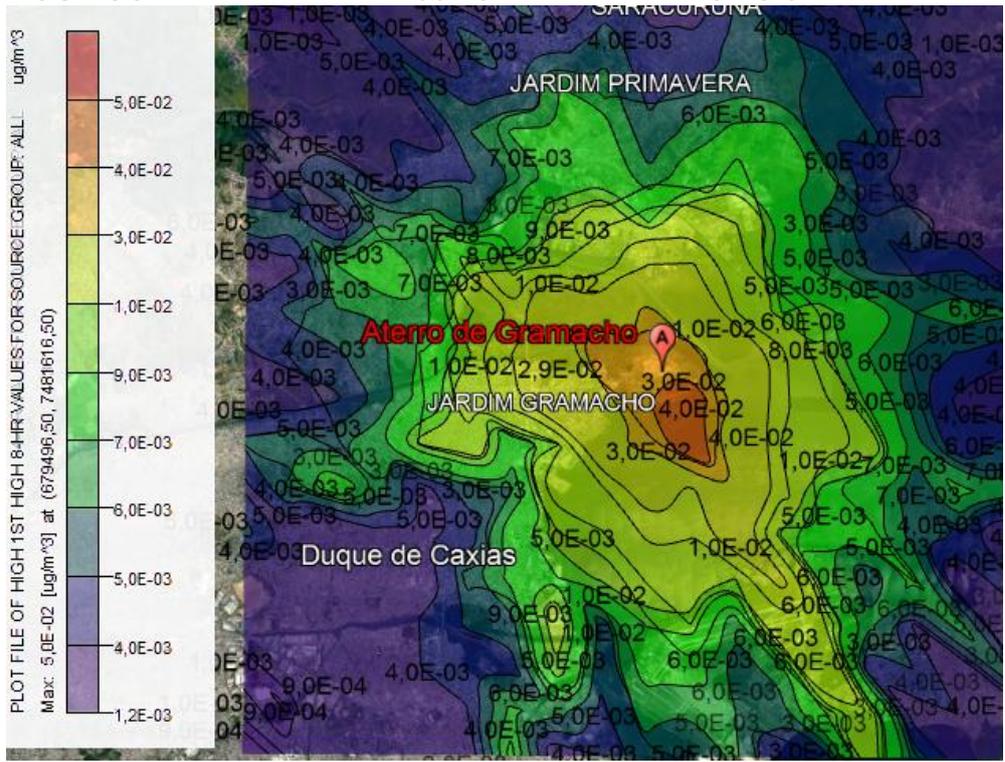
ACG - COV – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 24H



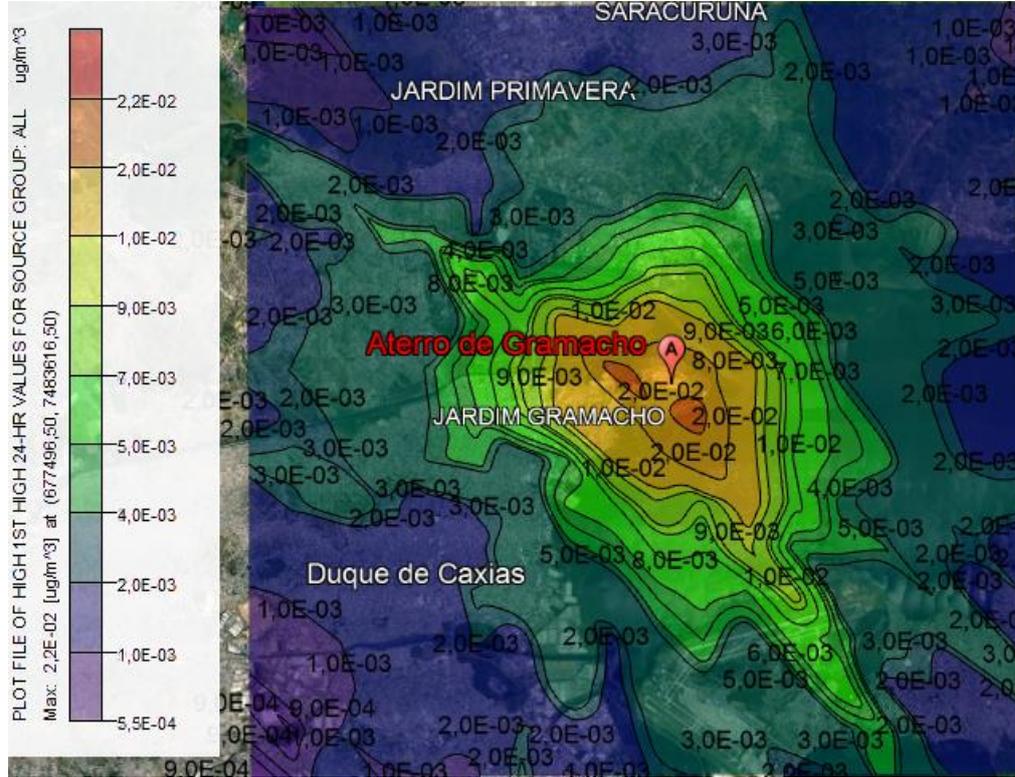
ACG - COV – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 1H



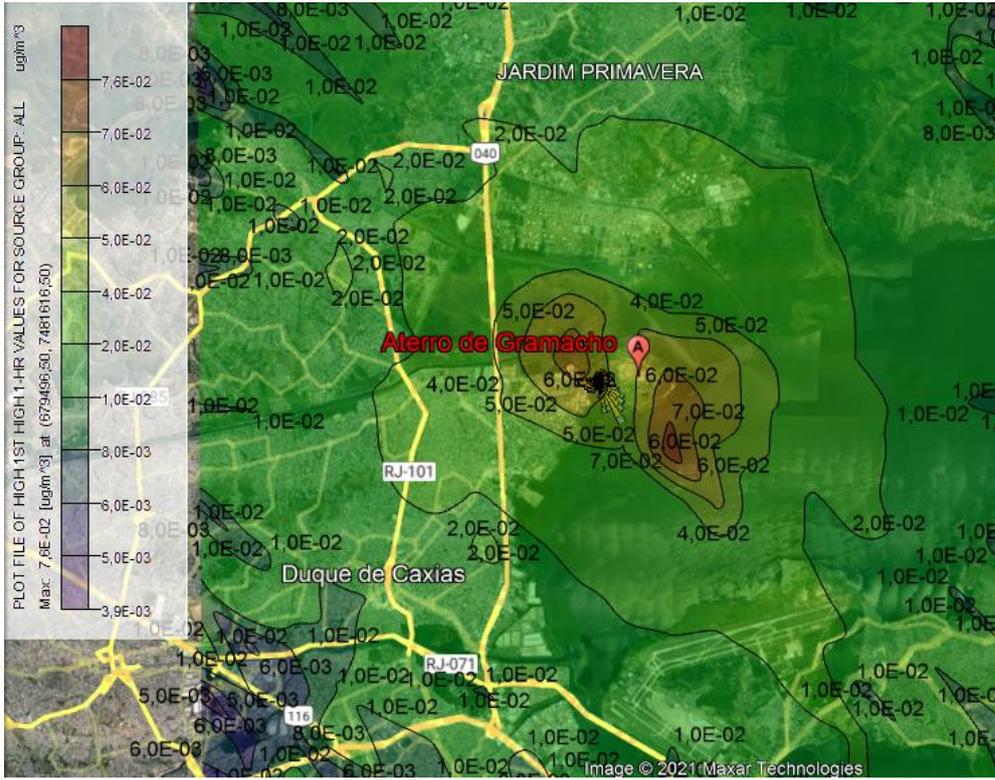
ACG - COV – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 8H



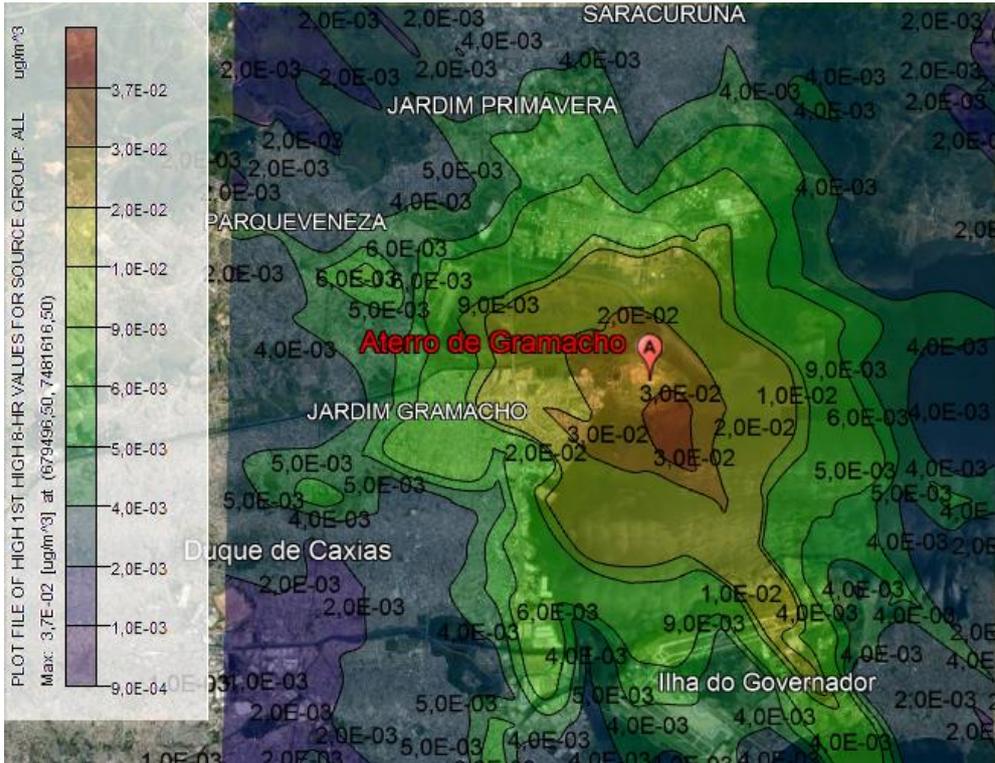
ACG - COV – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 24H



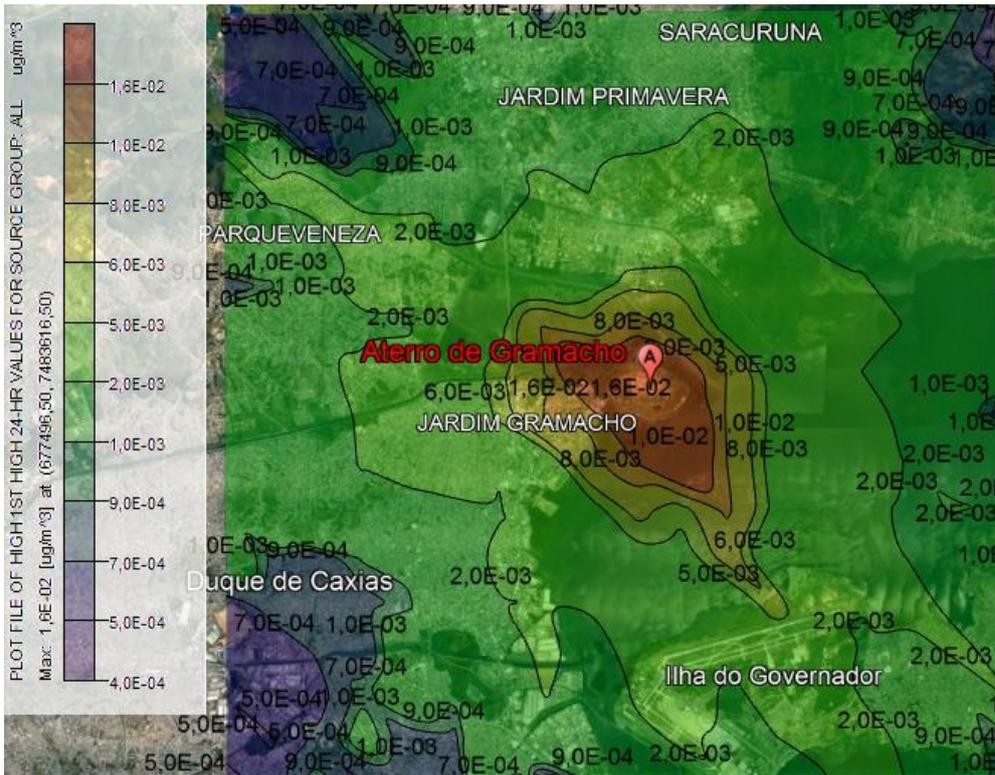
ACG - COV – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 1H



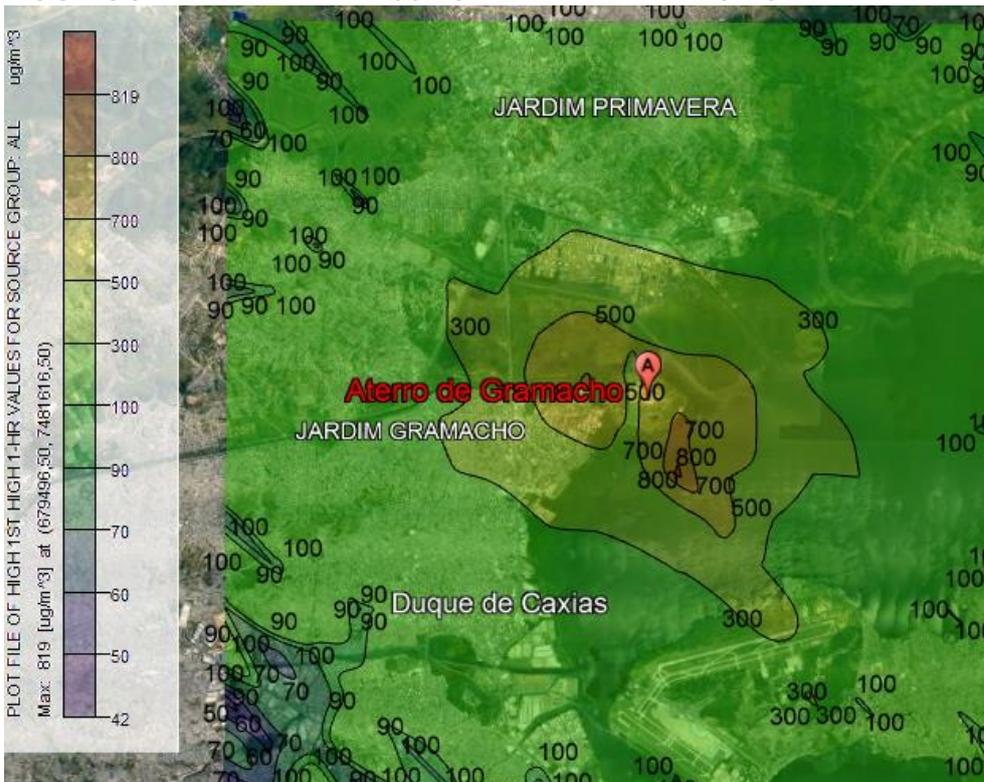
ACG - COV – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 8H



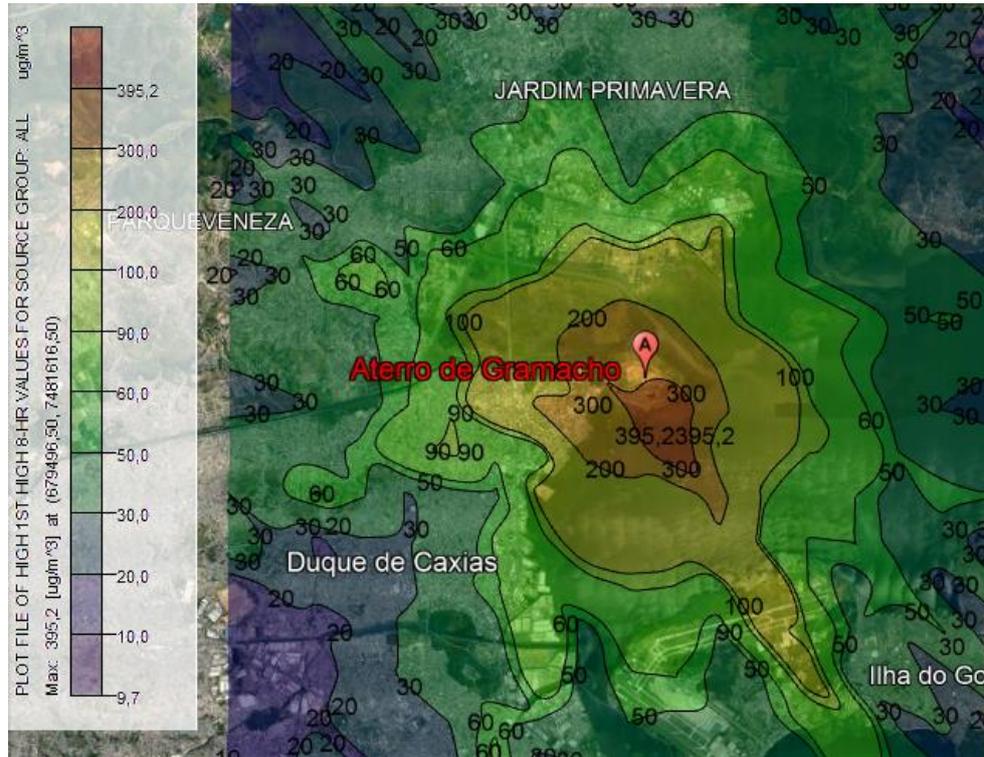
ACG - COV – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 24H



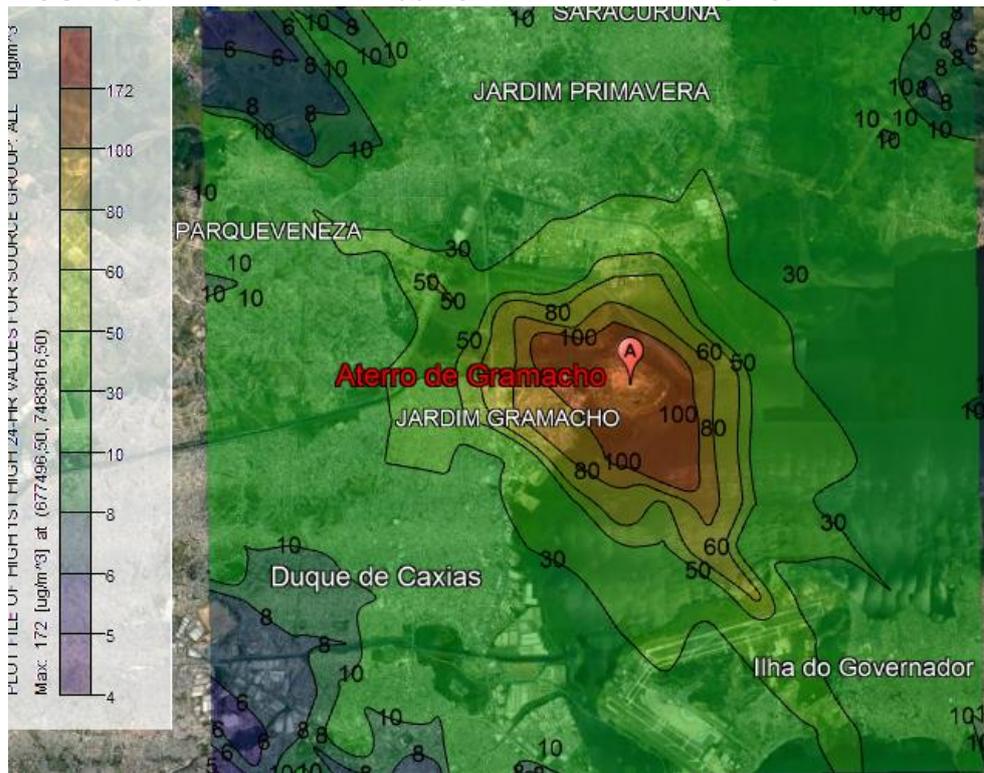
ACG - CO – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 1H



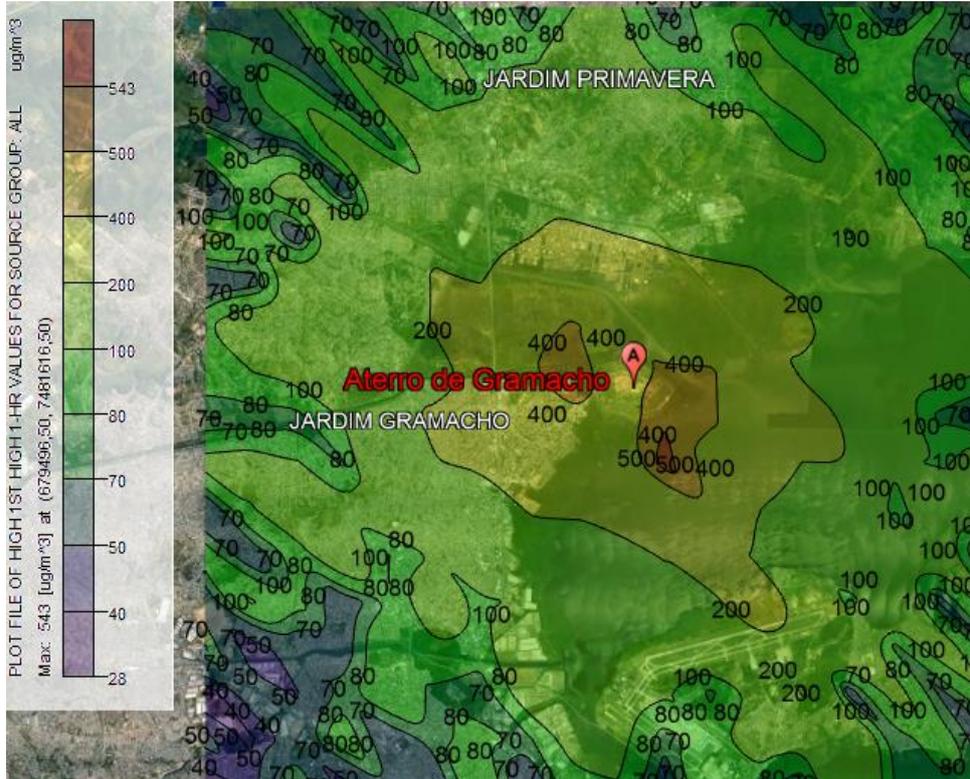
ACG - CO – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 8H



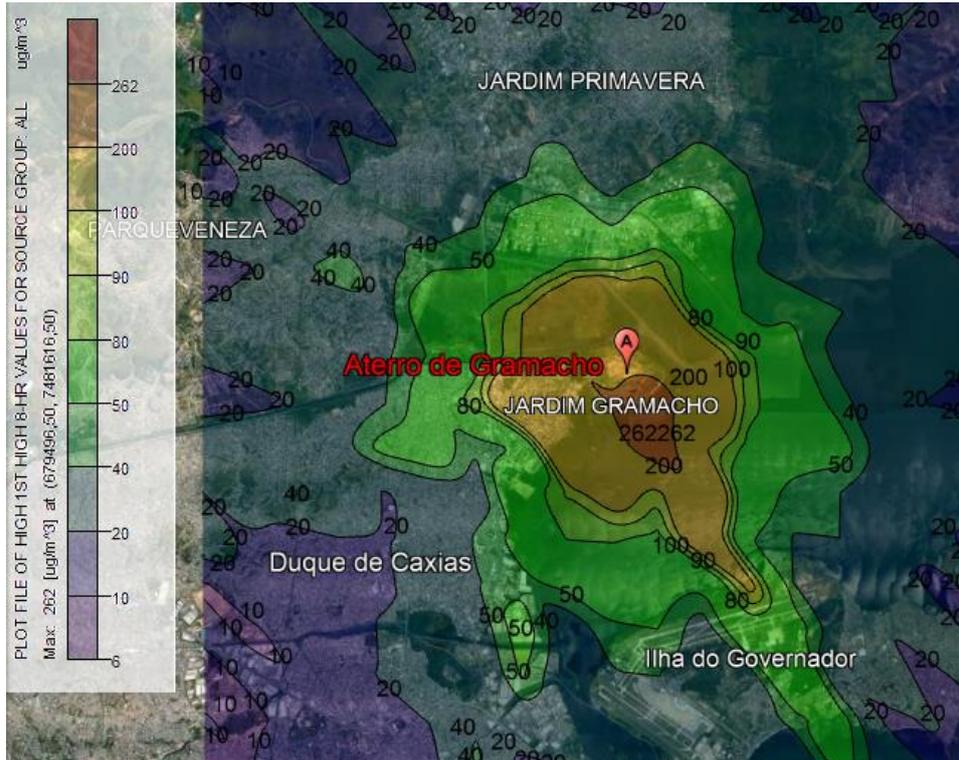
ACG - CO – TAXA DE EMISSÃO MÁXIMA – PERODO 24H



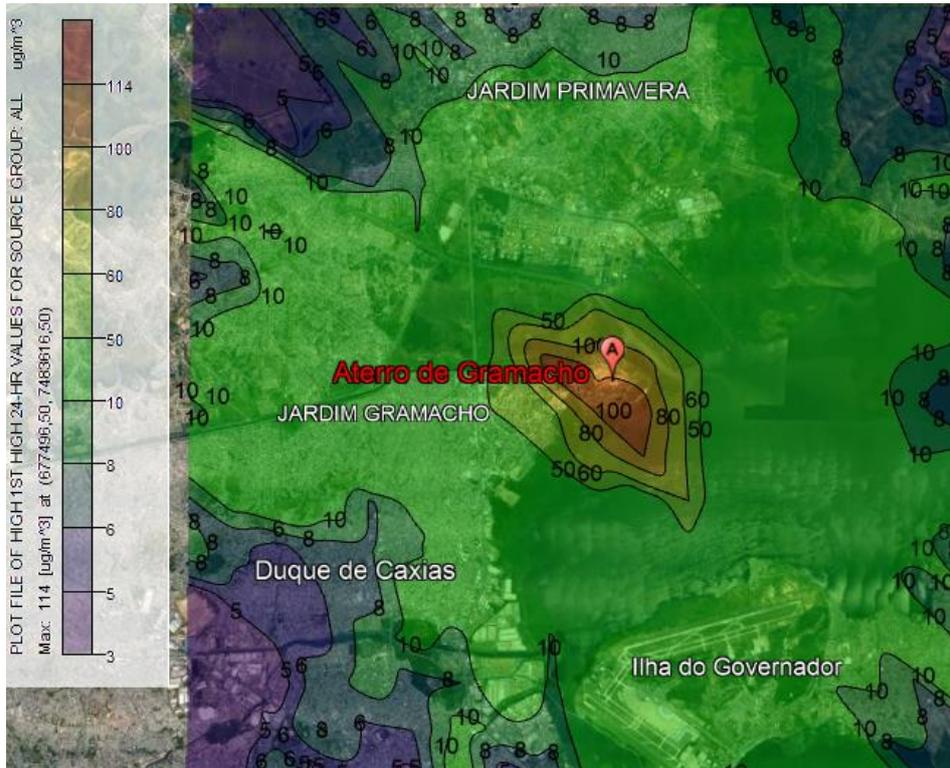
ACG - CO – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 1H



ACG - CO – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 8H



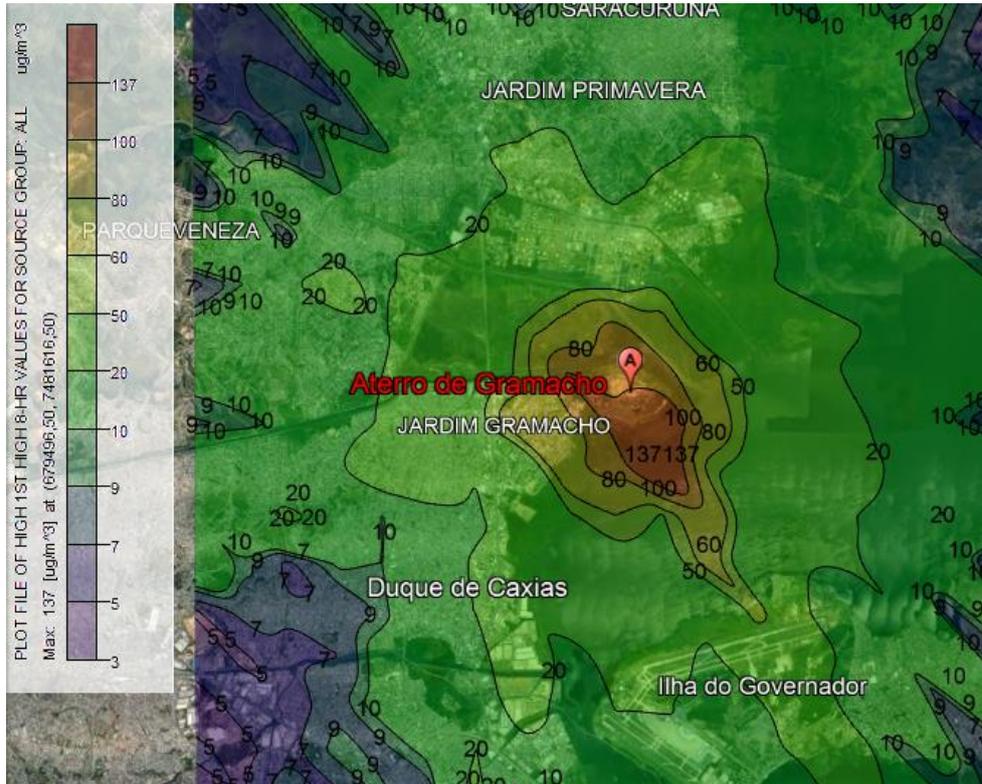
ACG - CO – TAXA DE EMISSÃO MÉDIA – PERODO 24H



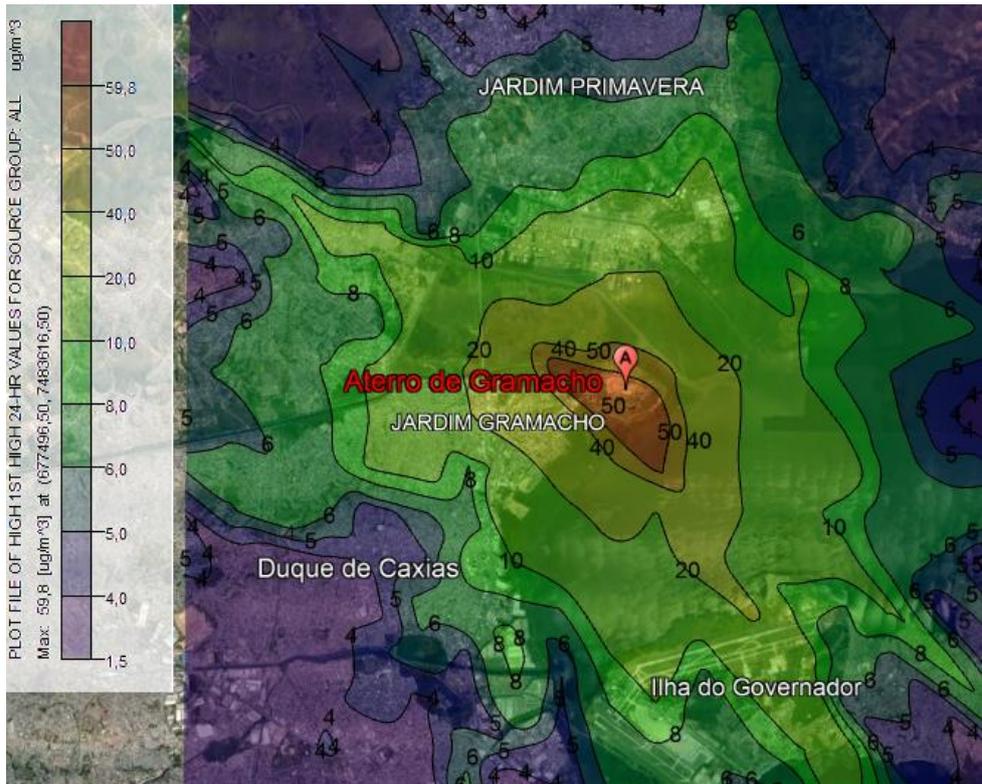
ACG - CO – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 1H



ACG - CO – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 8H



ACG - CO – TAXA DE EMISSÃO MÍNIMA – PERODO 24H



APENDICE VIII – PUBLICAÇÕES DO GRUPO DE PESQUISA

Os dados do presente estudo propiciaram a publicação de dois artigos científicos:

1. Borba, Priscila Falcão de Sá; Martins, Eduardo Monteiro; Correa, Sergio Machado; Ritter, Elisabeth. **BTEX Emissions from the Largest Landfill in Operation in Rio de Janeiro, Brazil**. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, v. 98, n. 1, p. 0, 2017.
2. Borba, Priscila Falcão de Sá; Martins, Eduardo Monteiro; Correa, Sergio Machado; Ritter, Elisabeth. **Emissão de gases do efeito estufa de um aterro sanitário no Rio de Janeiro**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 1, p. 101–111, 2018.

O primeiro foi classificado como A2 e o segundo com B1 na classificação de periódicos 2016 do qualis das Engenharias I.