

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

ESTUDO DE EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA : ANÁLISE ESTATÍSTICA DE
TEMPERATURA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E CARACTERIZAÇÃO DESSES GASES
NO LIXÃO EM CABO FRIO, RJ.

RAIMUNDO NONATO COSTA LIMA JUNIOR

MACAÉ-RJ

2021

RAIMUNDO NONATO COSTA LIMA JUNIOR

ESTUDO DE EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE
TEMPERATURA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E CARACTERIZAÇÃO DESSES GASES
NO LIXÃO EM CABO FRIO, RJ.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador(a): Dr. Victor Barbosa Saraiva

Coorientador(a): Dr. Vicente de Paulo Oliveira

MACAÉ-RJ

Ano

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732e

Lima Junior, Raimundo Nonato Costa, 1980-.

Estudo de emissões dos gases de efeito estufa: análise estatística de temperatura no Estado do Rio de Janeiro e caracterização desses gases no lixão em Cabo Frio, RJ. / Raimundo Nonato Costa Lima Junior. — Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

xiii, 29 f. : il. color.

Orientador: Victor Barbosa Saraiva, 1976-.

Coorientador: Vicente de Paulo Santos de Oliveira, 1965-.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

Inclui referências.

Área de concentração: Sustentabilidade Regional.

Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

1. Lixo - Eliminação - Aspectos ambientais - Cabo Frio (RJ). 2. Gases do efeito estufa - Medição - Cabo Frio (RJ). 3. Rio de Janeiro (Estado) - Temperatura - Estatísticas. I. Saraiva, Victor Barbosa, 1976-, orient. II. Oliveira, Vicente de Paulo Santos de, 1965-, coorient. III. Título.

CDD 363.73874098153 (23. ed.)

Dissertação intitulada ESTUDO DE EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE TEMPERATURA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E CARACTERIZAÇÃO DESSES GASES NO LIXÃO EM CABO FRIO, RJ., elaborada por **Raimundo Nonato Costa Lima Junior** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em: 14/04/2021

Banca Examinadora:

Victor Barbosa Saraiva

Víctor Barbosa Saraiva, Doutor(a) em Biologia / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ),
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador(a)

Simone Lorena Quitério

Simone Lorena Quitério de Souza, Doutor(a) em Ciências/ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – *Campus* Rio de Janeiro



Documento assinado digitalmente

Simone Lorena Quitério de Souza

Data: 30/07/2021 17:57:54-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Simone Lorena Quitério de Souza

Doutora em Ciências (Físico-Química) / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ),

IFRJ

Marcos Antônio Cruz Moreira

Marcos Antônio Cruz Moreira, Doutor(a) em Engenharia Elétrica/ Universidade Federal do Rio de Janeiro(UFRJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)

Documento assinado eletronicamente por:

- Marcos Antonio Cruz Moreira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, DIRETORIA GERAL DO CAMPUS MACAE, em 15/06/2021 19:21:50.
- Victor Barbosa Saraiva, DIRETOR GERAL - CD2 - DGCCFRIO, DIRETORIA GERAL DO CAMPUS CABO FRIO, em 15/06/2021 18:02:06.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/06/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.iff.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 251923
Código de Autenticação: c56e56f7ee



Gostaria de dedicar este trabalho a todos os professores envolvidos na minha formação acadêmica e profissional que tive contato até o presente momento, pois sem a ajuda de todos seria muito difícil concluir meus estudos e na minha formação como pessoa cidadã.

AGRADECIMENTOS

A conclusão da dissertação não seria possível se não fosse todos os parceiros que vieram a colaborar para este trabalho, gostaria de agradecer à minha família que tanto ajudou, aos professores do curso de mestrado profissional em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense, dos *campus* de Macaé, Campos do Goytacases e Cabo Frio, pois sem eles não seria possível.

Também gostaria de agradecer aos professores do Doutorado em Engenharia Ambiental (DEAMB) da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, por permitir-me assistir como aluno ouvinte a disciplina de Poluição atmosférica do Professor Eduardo Martins, onde me incentivou a coletar o ar atmosférico no lixão pesquisado, também um grande agradecimento ao Professor Sergio Machado, também do DEAMB, e responsável pelo laboratório de análises atmosféricas da UERJ, *campus* de Resende, onde emprestou os equipamentos para analisar as amostras, aprendi muito com eles.

A resposta certa, não importa nada: o essencial é que as perguntas estejam certas.

Mario Quintana

LISTA DE FIGURAS ARTIGO 1

Figura 1 – Divisão administrativa do Rio de Janeiro em mesorregiões	06
Figura 2 – Gráfico do aumento das temperaturas no período de 30 anos das cidades analisadas: Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes	10
Figura 3 – <i>Box Blot</i> da variação de temperaturas médias máximas e mínimas nas cidades do Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes.....	12
Figura 4 – Gráfico de probabilidade normal das médias máximas e mínimas das cidades do Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes	13
Figura 5 – Gráficos dos quartis normais das médias das temperaturas máximas e mínimas analisadas no período de 30 anos nas cidades do Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes	14

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 2

Figura1– Mapa do Lixão de Cabo Frio	23
Figura 2 – <i>Box Plot</i> dos valores de GEE obtidos do lixão da Baía Formosa	25
Figura 3 – Matriz de correlação dos GEE obtidos do lixão da Baía Formosa.....	26

LISTA DE TABELAS ARTIGO 1

Tabela 1 – Temperatura média máxima e média mínima anual das cidades do Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes - 1985 a 2015	10
Tabela 2 – Teste Estatístico para comparação de médias nas cidades do Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes.....	11

LISTA DE TABELAS ARTIGO 2

Tabela 1 – Pontos de coletas e concentração dos GEE dentro do Lixão da Baía Formosa	24
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de carbono

GEE – gases de efeito estufa

GHG Protocol – Green House Gas Protocol

GWP – Global Warming Potencial

HFC – hidrofluorcarbonetos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INEA– Instituto Estadual do Ambiente

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

N₂O – Óxido nitroso

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

OMM – Organização Meteorológica Mundial

PFC – Perfluorcarbonetos

RF – Forçamento radiativo

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre

SIG – Sistema de Informação Geográfica

U.S. EPA – EPA United States Environmental Protection Agency

ESTUDO DE EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE TEMPERATURA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E CARACTERIZAÇÃO DESSES GASES NO LIXÃO EM CABO FRIO, RJ.

RESUMO

As mudanças climáticas generalizadas são objetos de estudos há pelo menos 50 anos, a atribuição da ação antrópica está cada vez mais discutida e mencionada em diversos artigos científicos. A população brasileira está concentrada nos grandes centros urbanos, portanto este trabalho busca pesquisar e analisar as emissões atmosféricas de gases de efeito estufa no estado do Rio de Janeiro. No primeiro artigo foi feita uma análise estatística exploratória das temperaturas médias máximas e mínimas nas três maiores cidades das três regiões mais emissoras do Estado do Rio de Janeiro, no período de 1985 a 2015 e analisou-se também o inventário de gases de efeito estufa do estado no período de 2000 a 2015. No segundo artigo foi feita uma caracterização da emissão de gases de efeito estufa no lixão desativado de Cabo Frio, RJ, foi analisada uma análise quantitativa dos pontos coletados e comparados com outro sítio que não sofre influência do lixão, a coleta empírica das amostras, foram analisadas no cromatógrafo gasoso específico para análises de gases de efeito estufa, como o Metano, Dióxido de Carbono e Óxido Nitroso.

Palavras-chave: Lixão. Efeito Estufa. Emissões. Temperatura

STUDY OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND STATISTICAL ANALYSIS OF TEMPERATURE IN RIO DE JANEIRO STATE AND CHARACTERIZATION OF THESE GASES AT THE LANDFILL IN CABO FRIO, RJ.

ABSTRACT

The widespread climate changes have been the object of studies for at least 50 years, the attribution of anthropic action is increasingly discussed and mentioned in several scientific articles. The Brazilian population is concentrated in large urban centers, therefore this work seeks to research and analyze atmospheric emissions of greenhouse gases in the state of Rio de Janeiro. In the first article an exploratory statistical analysis was made of the average maximum and minimum temperatures in the three largest cities of the three most emitting regions of the state of Rio de Janeiro, in the period from 1985 to 2015 and analyzed the inventory of greenhouse gases in the state in the period from 2000 to 2015. The second article was made a characterization of the emission of greenhouse gases in the deactivated dump of Cabo Frio, RJ, a quantitative analysis of the points collected and compared with another site that is not influenced by the dump, the empirical collection of samples, were analyzed in the gas chromatograph specific for analysis of greenhouse gases such as methane, carbon dioxide and nitrous oxide.

Keywords: LandFill. Greenhouse effect. Emissions. Temperature

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	ix
RESUMO.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	1
ARTIGO CIENTÍFICO 1: ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NAS TRÊS REGIÕES MAIS EMISSORAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	02
1. INTRODUÇÃO.....	03
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	04
3. MATERIAL E MÉTODO.....	05
3.1. Material.....	05
3.2. Método.....	07
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	09
5. CONCLUSÃO.....	15
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
ARTIGO CIENTÍFICO 2: CARACTERIZAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO LIXÃO EM CABO FRIO, RJ.....	18
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	19
3. MATERIAL E MÉTODO.....	22
3.1. Material.....	22
3.2. Método.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5. CONCLUSÃO.....	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

APRESENTAÇÃO

A preocupação com o meio ambiente é uma demanda cada vez mais urgente, a economia e a revolução industrial foram desenvolvidas e pensadas de maneira linear, sempre buscando descobrir novas fontes de recursos naturais, explorá-los, consumi-los e por fim descartá-los.

Repensar os paradigmas do desenvolvimento é necessário, a preocupação com a degradação ambiental resultante deste modelo como os aspectos e impactos ambientais vêm sendo estudados para resultar em melhores tecnologias e metodologias de mitigação.

O crescimento desordenado das cidades sem planejamento, resulta em degradação ambiental, ocasionando desmatamento, devido a mudança de uso e ocupação do solo; produção de resíduos e descartes em locais inadequados; aumento de emissões atmosféricas antropogênicas de poluentes e materiais particulados que afetam a qualidade do ar e a saúde da população.

Dentro dessas emissões atmosféricas antropogênicas, estão os gases de efeito estufa, que são considerados causadores do aumento da temperatura global.

Pesquisar as médias globais de temperaturas do estado do Rio de Janeiro é uma forma de avaliar o desenvolvimento do Estado, bem como das políticas públicas adotadas por meio de um modelo linear e não planejado. Além da poluição urbana do ar, o passivo ambiental inerente ao descarte inadequado dos resíduos em lixões contribui para emissões atmosféricas de metano, dióxido de carbono e óxido nitroso, que são gases de efeito estufa contribuintes das mudanças climáticas.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NAS TRÊS CIDADES MAIS EMISSORAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO *STATISTICAL ANALYSIS OF TEMPERATURE VARIATION IN THE THREE GREATEST EMISSION REGIONS OF GREENHOUSE GASES IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO*

Raimundo Nonato Costa Lima Junior- IFFluminense/PPEA

Rafael da Silva Caldeira – Uerj

Maria Luciene da Silva Lima – PUC/RJ

Flavia Ribeiro Villela – IFFluminense/PPEA

Vítor Barbosa Saraiva – IFFluminense/PPEA

RESUMO

A preocupação com o aquecimento global e as mudanças climáticas tem se tornado latente, mediante esse tema o presente estudo buscou analisar a variação da temperatura nas três regiões mais emissoras de Gases de Efeito Estufa no estado do Rio de Janeiro, tendo as cidades de Campos dos Goytacazes, Resende e Rio de Janeiro como referências em cada região estudada, utilizando dados estatísticos para a verificação dessa variação de temperatura nos 30 anos pesquisados, período de 1985 a 2015, com o auxílio da elaboração de mapas temáticos e levantamento de dados secundários. Os resultados obtidos mostram tendência de aumento da temperatura em todas as cidades pesquisadas, aumento de emissões e urbanização também foram observados. Desde que começou a ser medida nos anos 2000, foi crescente e exponencial a quantidade gases estufa lançados na atmosfera nestas regiões, entretanto os dados ainda são escassos, pois não tem a mesma quantidade de anos medidos que as médias das temperaturas. Não há por exemplo um processo de medição sistemático mensal e com uma série histórica densa que possa ser insumo para uma análise detalhada de correlação estatística, ficando esta correlação diretamente relacionada a um processo qualitativo, assim a elaboração de mais pesquisas com esta temática é necessária para o enriquecimento das informações sobre aquecimento global e local.

Palavras chave: Estatística Ambiental. Gases de Efeito Estufa. Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

The concern with global warming and climate change has become latent, through this theme the present study sought to analyze the temperature variation in the three regions that emit the most greenhouse gases in the state of Rio de Janeiro, having the cities of Campos dos Goytacazes, Resende and Rio de Janeiro as references in each region studied, using statistical data to verify this temperature variation in the 30 years researched, from 1985 to 2015, with the help of the preparation of thematic maps and survey of secondary data. The results obtained show a tendency to increase in all the cities researched, and an increase in emissions and urbanization were also observed. Since it began to be measured in the 2000s, the amount of greenhouse gases released into the atmosphere in these regions has been growing and exponential, however, the data is still scarce because it does not have the same amount of years measured as the average temperatures. There is, for example, no systematic monthly measuring process with a dense historical series that can be the input for a detailed analysis of statistical correlation, and this correlation is directly related to a qualitative process, thus the development of further research on this topic is necessary to enrich the information about global and local warming.

Keywords: Environmental Statistics. Greenhouse gases. Climate changes.

1. INTRODUÇÃO

No estudo das variações de temperatura da atmosfera, especificamente na troposfera, é observado um aumento gradual da média global, o que também pode ser identificado de forma regional (ANDERSON; HAWKINS; JONES, 2016; IPCC, 2018; MEDEIROS; CAVALCANTI, 2020).

A intensificação do efeito estufa é diretamente impulsionada pelo aumento das emissões desses gases de efeito estufa (GEE) na troposfera. O dióxido de carbono (CO₂), considerado o principal gás de efeito estufa absorve parte da radiação infravermelha (IV), conservando parte do calor na atmosfera e influenciando o balanço energético do planeta (IPCC, 2007; MATHEZ; SMERDON, 2018; SEINFELD; PANDIS, 2016).

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2018) as atividades antropogênicas provocaram o aumento da temperatura em cerca de 1,0 °C acima dos níveis

pré-industriais com uma variação provável de 0,85 a 1,2 °C em consequência do aumento das concentrações de CO₂ na troposfera.

Em uma série histórica dos anos de 1990 até 2017 foi observado que existe o aumento do Forçamento Radioativo (FR) de 41 % o equivalente a $\sim 0,90 \text{ W m}^{-2}$ onde o CO₂ corresponde a 82 %, equivalente a $\sim 0,72 \text{ W m}^{-2}$ (IPCC, 2013; BULTLER e MONTZKA, 2018; NOAA, 2018).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Elevação de temperaturas ao longo do tempo

Às observações das temperaturas e das emissões de GEE vêm sendo monitoradas e quantificadas nas últimas décadas visando a viabilização das análises futuras sobre o clima. Segundo o IPCC (2018), existe forte probabilidade de que o aquecimento global de 1,5 °C, acima dos níveis na época pré-industrial, poderá expor 14% da população mundial a ondas de calor extremo, enquanto uma elevação de 2,0 °C aumentaria a população exposta ao calor extremo para 37 %.

Uma variação de 0,5 °C será o suficiente para intensificar o impacto das ondas de calor extremo sobre a população mundial em uma proporção de 2,6 vezes, podendo ocasionar perda e ecossistemas e diminuição de biomas.

Em estudos recentes foi observado que no Brasil pode haver um aumento da temperatura em mais de 4°C em relação à era pré-industrial. Os mesmos estudos apontam que as temperaturas médias podem chegar a 30 °C, o dobro da média global, produzindo ondas de calor e alteração no regime de chuvas em algumas regiões (SOARES; MARENGO; NOBRE, 2018).

Para PINHEIRO (2017) a ocupação e o uso do solo, tem influência direta no conforto térmico no ambiente urbano, com destaque para regiões pouco arborizadas.

Segundo DUARTE e SERRA (2003) a relação entre densidade construída, arborização e áreas alagadas em regiões urbanizadas são relevantes para determinar o micro clima nas cidades.

As análises a nível regional contribuem na compreensão da variação da temperatura a nível local a fim de correlacionar as escalas local/global como é destacado por BESSAT (2003). Desta forma, o presente estudo tem como objetivo analisar a variação da temperatura em cidades de três regiões do

Estado Rio de Janeiro, considerada as maiores emissoras de GEE, segundo o Inventário de Emissões de GEE do Rio de Janeiro de 2015.

Na presente análise pretende-se observar a variação de temperatura em três décadas e sua relação com o uso e ocupação do solo, com a alteração da taxa de urbanização, com as emissões de GEE.

Nesta perspectiva, este artigo, também, apresenta o intuito de contribuir nos estudos do comportamento do clima em microescala, utilizando para isso a análise estatística para identificação das tendências anuais da temperatura, assim como suas mudanças ao longo da série histórica considerada.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Material

A análise será localizada no Estado do Rio de Janeiro, e observou-se a variação das temperaturas médias mensais das cidades Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro e Resende em uma série histórica 1985 até 2015.

A determinação da escolha das três cidades deve-se ao fato de que foram às maiores emissoras de GEE apontadas pelo Inventário de Emissões GEE do Estado do Rio de Janeiro de 2015.

Portanto a análise exploratória dos dados buscou verificar o quanto e se teve aumento de temperatura ao longo das três décadas analisadas em cada cidade respectivamente. Na figura 1 está o mapa de localização do Estado do Rio de Janeiro.

Conforme descreve o IPCC (2019, p.08), o aquecimento global antrópico estimado vem aumentando em 0,2°C (provavelmente entre 0,1°C e 0,3°C) por década, devido a emissões passadas e atuais, então se em uma década teve aumento de 0,1 °C, é considerado que houve aumento regional de temperatura.

Figura 1 - Divisão administrativa do Rio de Janeiro em mesorregiões



Fonte: CEPERJ, 2017

O município de Campos dos Goytacazes é o maior dos que compõem a mesorregião Norte Fluminense. De acordo como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município **de** possui uma população no último censo (2010) de 463.731 habitantes, sendo a mais populosa cidade do interior do estado e o município com a maior extensão territorial do estado, ocupando uma área de 4.026,696 km². É considerado um pólo universitário, possuindo importantes universidades tanto públicas quanto privadas do estado do Rio de Janeiro. Segundo o IBGE, Campos dos Goytacazes tinha em 2015, o terceiro maior PIB do estado R\$ 34.216.751,97, tendo a indústria do petróleo uma forte atividade econômica. O município de Macaé é o segundo em população (463.731 habitantes) e em PIB R\$ 20.849.841,36 na mesorregião, tendo o petróleo como principal atividade econômica.

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro tem como principal município **do** Rio de Janeiro, que possui uma área de 1.199,82 km² e uma população total de 6.320.446 de habitantes no censo de 2010.

A mesorregião do Médio Paraíba é uma região de razoável contingente populacional, com cerca de 1 milhão de habitantes de acordo com o IBGE (dados de 2010). A cidade de Resende, segundo

o IBGE (2020) possui uma população estimada em 132.321 habitantes, território de 1.099,336 Km² e o PIB per capita estimado em R\$ 60.915,10 (2017).

3.1.1 Obtenção de dados

Foram levantados os dados históricos de temperaturas (°C) médias máximas e mínimas nas regiões de interesse por meio do portal do INMET, na página BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Sendo observado o fato de que para o Rio de Janeiro no ano de 1985 não foram registrados em bases de dados oficiais os valores das temperaturas e mínima e máxima entre os anos 1992 e 2001.

Os dados de Dióxido de Carbono equivalente (Gg CO₂e) foram obtidos por meio do estudo realizado pela COPPE, cujo objetivo é tornar público os valores de emissões no estado do Rio de Janeiro. O relatório começou a ser publicado em 2000 e tem a periodicidade de cinco anos, sendo o último relatório publicado em 2015.

Para a obtenção dos valores de população absoluta estudados neste trabalho, foram utilizadas as informações publicadas pelo IBGE nos últimos censos (2000 e 2010), em seu portal na internet.

3.2. Método

3.2.1 Estatística Ambiental

A análise e interpretação dos dados numéricos por meio da estatística foi um avanço na observação do mundo, e atualmente ela está presente em várias áreas do conhecimento, na medida que ela proporciona um melhoramento dos dados ao descrever modelos matemáticos, o que auxilia na tomada de decisão.

No âmbito ambiental os dados obtidos, geralmente são encontrados com grande dispersão e os modelos devem obedecer a essa natureza instável do objeto e ao mesmo tempo demonstrar padrões que revelem suas tendências (BARIONI JUNIOR; COLDEBELLA; PAIVA, 2003).

Atualmente com os novos computadores pessoais com maior capacidade de processamento e "com a disponibilização de séries longas e detalhadas das mudanças paleo - climáticas nas últimas três décadas, novos ciclos climáticos têm sido pesquisados e identificados" (OLIVEIRA et. al., 2017).

Devido ao exposto, uma análise estatística visando observar a variação do clima, necessita de uma observação de no mínimo 30 anos consecutivos de acordo com Organização Meteorológica

Mundial (OMM), visto que alterações no clima já são esperadas, devido a interferências de diversos fatores.

Deste modo a análise estatística é uma ferramenta que instrumentaliza e modela as teorias que visam explicar a natureza e o meio ambiente. E para instrumentalizar as análises destes trabalhos foram verificadas as tendências anuais de Temperatura Máxima e Temperatura Mínima nos períodos de 1985-2015.

O *software* gratuito R é, atualmente, uma importante ferramenta estatística e auxilia nas análises dos dados e, neste trabalho, ele foi utilizado para a confecção dos gráficos *Box-Plot*, distribuições probabilísticas, probabilidade normal e para efetuar os testes de diferença entre médias das temperaturas das cidades estudadas a fim de verificar se há correlação das variações temperaturas entre os valores de cada região.

3.2.2 Emissões de Gases de Efeito Estufa

O Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio de Janeiro - 2015 relata as emissões totais para o estado nos anos de 2005, 2010 e 2015, que são respectivamente, 66.126,1; 75.577,6 e 92.689,7; sendo possível observar um incremento de emissões no decorrer do tempo no estado do Rio de Janeiro como um todo.

O total de emissões de gases de efeito estufa em 2015, segundo este inventário, foi 92.690 GgCO₂e, sendo 35.836 GgCO₂e para a região Norte, 33.701 GgCO₂e para a região metropolitana e 14.000 GgCO₂e para o Médio Paraíba, representado em porcentagem 38,7%, 36,4% e 15,1% respectivamente, deste modo as regiões estudadas totalizam 90,2% do total de emissão de GEE do estado do Rio de Janeiro no ano de 2015.

O crescimento populacional sem planejamento urbano e desordenado é também um fator que contribui para piorar os índices de qualidade de vida de uma região, onde têm -se um crescimento da população em todas as três mesorregiões estudadas nos anos de 2000 a 2010, houve 9,18% de acréscimo populacional na região metropolitana do Rio de Janeiro, 21,57% de acréscimo no norte fluminense e 8,90% no médio paraíba.

Em percentual pode-se ter uma falsa impressão que a região metropolitana teve um aumento populacional modesto, contudo em valores absolutos esta região foi a que teve um maior aumento quando comparada com as demais. A Região Metropolitana teve um acréscimo populacional de

1.448.182 pessoas, 8 vezes maior do que o aumento populacional de da mesorregião Norte Fluminense que foi de 150.732 e quase 18 vezes maior do que a mesorregião do Médio Paraíba, que foi de 18.124.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados a seguir e, em sequência, os gráficos de variação das temperaturas médias máximas e mínimas, de variabilidade por meio dos diagramas *Box-Plot*, de distribuição probabilística e de probabilidade normal.

4.1 Medidas Estatísticas Descritivas:

Para a região de Campos dos Goytacazes (norte fluminense) observa-se que as temperaturas máximas variam de 28,52 °C até 30,88°C ($\Delta T = 2,36^\circ\text{C}$) com um desvio padrão de 0,57°C e um coeficiente de variação de 1,92%, indicando uma simetria em relação à média. No que se refere às temperaturas mínimas, observou-se que elas variam de 18,75 °C até 22,1°C ($\Delta T = 3,35^\circ\text{C}$) com um desvio padrão de 0,62°C e um coeficiente de variação de 2,98%, indicando uma simetria em relação à média. A amplitude térmica média observada foi de 9,15°C, entre as mínimas e máximas.

Para a região de Resende (médio paraíba) observa-se que as temperaturas máximas variam de 26,10 °C até 29,55°C ($\Delta T = 3,45^\circ\text{C}$) com um desvio padrão de 0,84°C e um coeficiente de variação de 3,03%, indicando uma simetria em relação à média. No que se refere às temperaturas mínimas, observou-se que elas variam de 16,07 °C até 18,71°C ($\Delta T = 2,64^\circ\text{C}$) com um desvio padrão de 0,72°C e um coeficiente de variação de 4,17%, indicando uma simetria em relação a média. A amplitude térmica média observada foi de 10,69°C, entre as mínimas e máximas.

Para a região do Rio de Janeiro (metropolitana) observa-se que as temperaturas máximas variam de 27,06 °C até 31,13°C ($\Delta T = 4,07^\circ\text{C}$) com um desvio padrão de 1,44°C e um coeficiente de variação de 4,92%, indicando uma simetria em relação à média e uma amplitude. No que se refere às temperaturas mínimas, observou-se que elas variam de 20,77 °C até 22,29°C ($\Delta T = 1,52^\circ\text{C}$) com um desvio padrão de 0,49°C e um coeficiente de variação de 2,26%, indicando uma simetria em relação a média. A amplitude térmica média observada foi de 7,64°C, entre as mínimas e máximas. As variações mencionadas acima podem ser visualizadas conforme tabela 1.

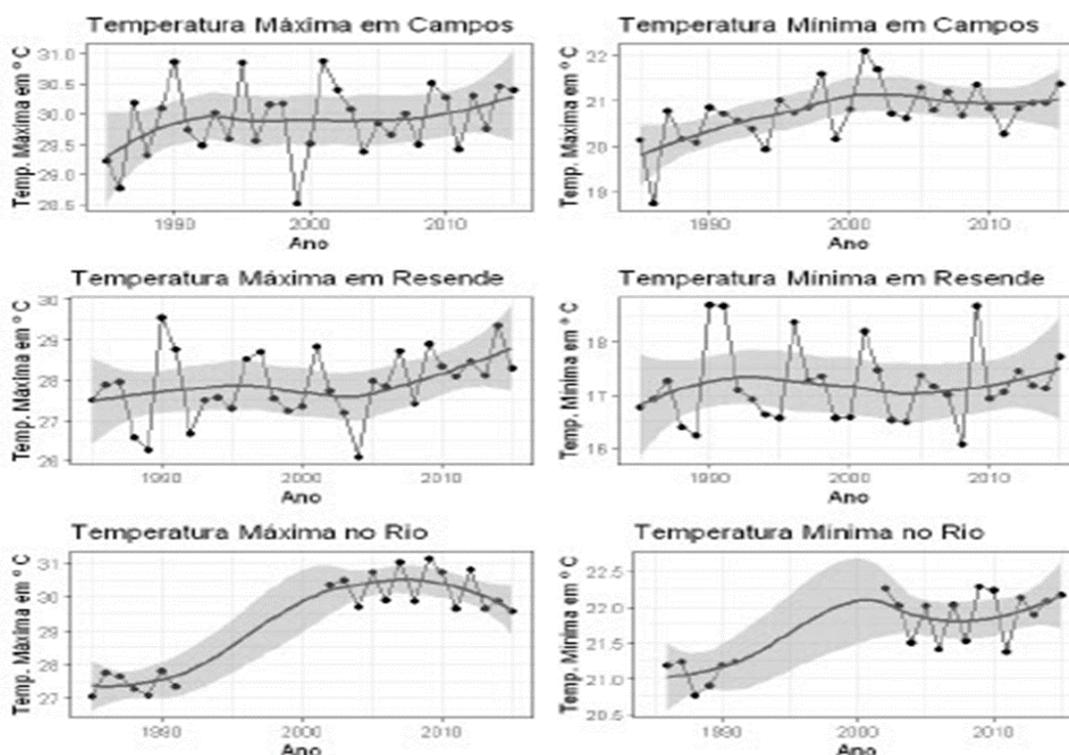
Tabela 1 - Temperatura média máxima e média mínima anual das cidades do Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes - 1985 a 2015.

Ano	Temp Máxima Média Campos	Temp Mínima Média Campos	Temp Máxima Média Resende	Temp Mínima Média Resende	Temp Máxima Média Rio	Temp Mínima Média Rio
Média	29,9	20,75	27,88	17,19	29,31	21,67
Mediana	30,01	20,8	27,9	17,09	29,71	21,71
Mínimo	28,52	18,75	26,1	16,07	27,06	20,77
Máximo	30,88	22,1	29,55	18,71	31,13	22,29
Desvio padrão	0,57	0,62	0,84	0,72	1,44	0,49
Coefficiente de variação	1,92%	2,98%	3,03%	4,17%	4,92%	2,26%

Fonte: Autores (2018)

As séries históricas de temperatura máxima das três mesorregiões de interesse foram plotadas em um gráfico tipo linha e foram extraídas as linhas de tendência lineares de cada série histórica referente aos últimos 30 anos. Para indicar se houve acréscimo de temperatura, foi possível identificar que nos últimos 30 anos houve um acréscimo de temperatura, conforme figura 2.

Figura 2: Gráfico do aumento das temperaturas no período de 30 anos das Cidades Analisadas, Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes



Fonte: autores, 2020

Utilizando o mesmo padrão de observação do gráfico anterior, observa-se uma inclinação positiva nas três cidades obtidas para a variação de temperatura mínima em 30 anos. O estudo das emissões de gases de efeito estufa no Rio de Janeiro é recente e, apesar das análises climáticas serem convencionadas que o período mínimo para observação seja 30 anos, na tabela 2 está plotado os resultados estatísticos das décadas analisadas e a diferença do aumento das temperaturas, foi feito o teste de hipótese das diferentes décadas e comparadas levando em consideração a hipótese nula (H_0), onde o nível de significância é de $\alpha = 0,05$, para descrever se não houve diferença significativa de temperatura.

Tabela 2 - Teste Estatístico para comparação de médias nas cidades do Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes

Cidade	Períodos Medidos	Temperatura (°C)		α	p.valor	(p.valor) - (α)	Regra de Decisão	Diferença Estatística Significativa
		Média do período	Diferença de temperatura entre os períodos					
Campos (máx.)	U1 - 1985/1995	29,83	-	0,05	0,952587139	0,902587139	Rejeita H_0	Sim
	U2 - 1996/2005	29,85	U2-U1=0,02	0,05	0,474359323	0,424359323	Rejeita H_0	Sim
	U3 - 2006/2015	30,03	U3-U2=0,18 U3-U1=0,2	0,05	0,419305981	0,369305981	Rejeita H_0	Sim
Campos (mín.)	U1 - 1985/1995	20,31	-	0,05	0,010839621	-	Rejeita H_0	Sim
	U2 - 1996/2005	21,06	U2-U1=0,75	0,05	0,011174738	0,038825262	Rejeita H_0	Sim
	U3 - 2006/2015	20,94	U3-U1=0,63 U3-U2=0,12	0,05	0,55923555	0,50923555	Rejeita H_0	Sim
Resende (máx.)	U1 - 1985/1995	27,60	-	0,05	0,766493487	0,716493487	Rejeita H_0	Sim
	U2 - 1996/2005	27,69	U2-U1= 0,09	0,05	0,059626769	0,009626769	Rejeita H_0	Sim
	U3 - 2006/2015	27,77	U3- U2= 0,8 U3-U1 = 0,17	0,05	0,038776051	- 0,011223949	Rejeita H_0	Sim
Resende (mín.)	U1 - 1985/1995	17,11	-	0,05	0,735664269	0,685664269	Rejeita H_0	Sim
	U2 - 1996/2005	17,23	U2-U1=0,12	0,05	0,955845604	0,905845604	Rejeita H_0	Sim
	U3 - 2006/2015	17,25	U3-U2=0,02 U3-U1= 0,14	0,05	0,69400386	0,64400386	Rejeita H_0	Sim
Rio de Janeiro (máx.)	U1 - 1985/1995	27,44	-	0,05	9,72355E-05	-	Rejeita H_0	Sim
	U2 - 1996/2005	30,32	U2-U1= 2,88	0,05	0,735898553	0,685898553	Rejeita H_0	Sim
	U3 - 2006/2015	30,22	U3- U2= -0,1 U3-U2= 2,78	0,05	8,21289E-09	- 0,049999992	Rejeita H_0	Sim
Rio de Janeiro (mín.)	U1 - 1985/1995	21,09	-	0,05	0,006233746	-	Rejeita H_0	Sim
	U2 - 1996/2005	21,95	U2-U1= 0,86	0,05	0,863004834	0,813004834	Rejeita H_0	Sim
	U3 - 2006/2015	21,92	U3-U2= -0,03 U3-U1= 0,83	0,05	2,72882E-05	- 0,049972712	Rejeita H_0	Sim

Fonte: Autores

Neste contexto observa-se que apesar das emissões de gases de efeito estufa terem aumentado mais de 40% em 15 anos apenas, foi observado um acréscimo significativo da temperatura no Rio de Janeiro, quando se analisa a série histórica de 30 anos.

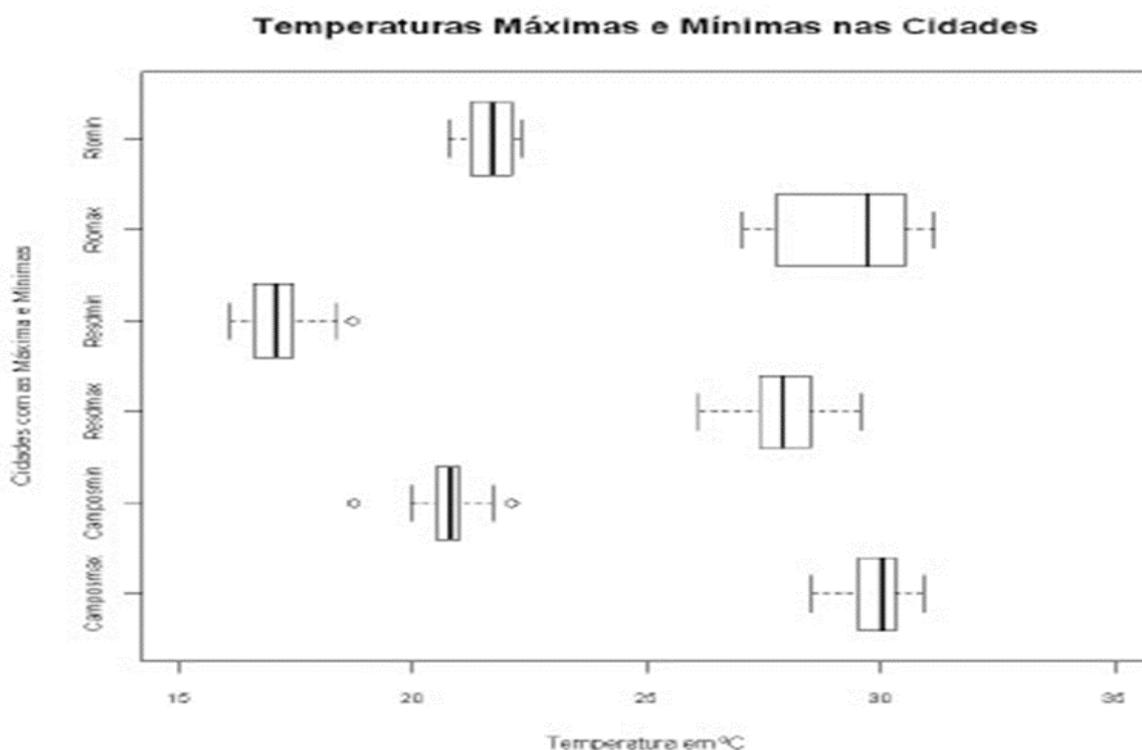
Já, em Resende foi também observado variação de temperatura significativa no período de 30 anos.

4.2 Análise de variabilidade: diagramas *Box-Plot*

Buscando avaliar a distribuição dos dados foram criados gráficos *box-plot* ou gráficos de caixa dos três municípios estudados quanto às temperaturas máximas e mínimas médias. Possuem como finalidade a análise exploratória de dados e inferencial dos dados como descreve Neto et al (2018).

Como pode ser observado na figura 3 abaixo os dados estão próximos da média, que representa a temperaturas máximas média do Rio de Janeiro, que os dados se encontram mais distantes da média, variando de 27,06 a 31,13 °C, sendo que os 25% dos dados se encontram em 27,725 °C e os 75% dos dados então em 30,605 °C, isto equivale a uma amplitude de 2,88°C neste intervalo.

Figura 3: *Box Plot* da variação de temperaturas médias máximas e mínimas nas cidades do Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes.



Fonte: Autores

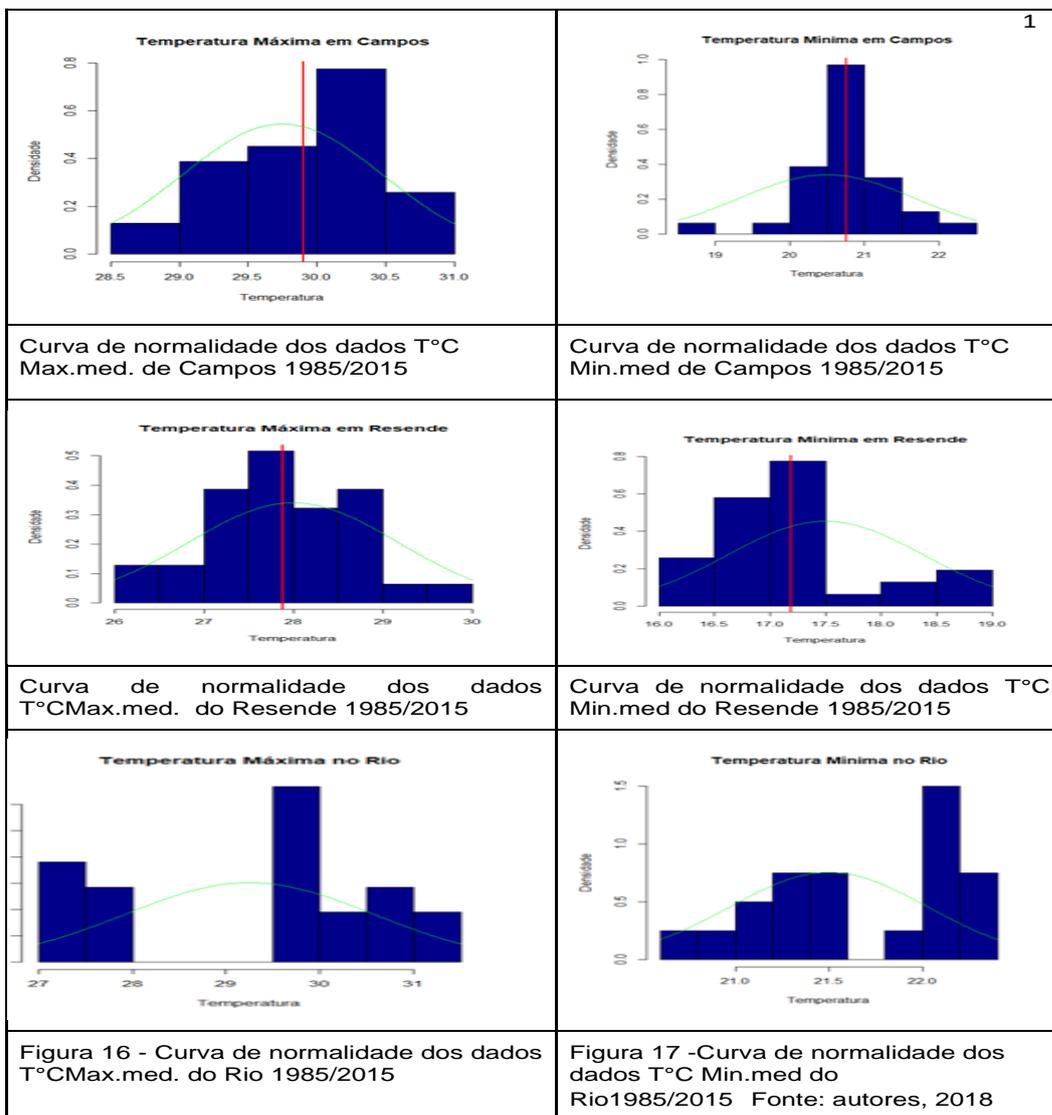
4.3 Distribuições probabilísticas

Foi utilizada a distribuição normal dos dados, onde o modelo utilizado para demonstrar o padrão da variação das temperaturas médias máximas e mínimas.

Segundo Paes (2008), a função que representa matematicamente a normalidade envolvendo dois parâmetros, é a curva de Gauss, ou curva de distribuição de probabilidade, sua propriedade principal é demonstrar a simetria em torno da média.

A distribuição dos dados para Campos dos Goytacazes para as temperaturas máximas e mínimas apresentam uma distribuição normal, assim como a distribuição normal da temperatura máxima de Resende, pois estes se concentram ao redor da média, como pode-se observar na figura 4.

Figura 4: Gráfico de probabilidade normal das médias máximas e mínimas das cidades do Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes.



Fonte: Autores

O gráfico de quantis normais é uma forma gráfica mais útil para analisar a normalidade, com ele pode-se perceber que se ajustam perfeitamente a reta e as figuras não apresentam um padrão linear de distribuição.

Estes gráficos convergem com os resultados exibidos na seção anterior, o que indicam que a distribuição dos dados de Campos dos Goytacazes e da temperatura máxima de Resende apresentam uma distribuição simétrica. E as temperaturas do Rio de Janeiro tem sua distribuição de dados assimétricos. As temperaturas de Resende mínima apresentam uma assimetria à direita, pois as observações com maiores valores se situam distintamente acima de uma reta traçada através do corpo principal de pontos.

Figura 5: Gráficos dos quartis normais das médias das temperaturas máximas e mínimas analisadas no período de 30 anos nas cidades do Rio de Janeiro, Resende e Campos dos Goytacazes

<p>Figura 18 - Gráfico dos quantis normais para temperatura máxima de Campos</p>	<p>Figura 19 - Gráfico dos quantis normais para temperatura mínima de Campos</p>
<p>Gráfico dos quantis normais para temperatura máxima de Resende</p>	<p>Gráfico dos quantis normais para temperatura mínima de Resende</p>
<p>Gráfico dos quantis normais para temperatura máxima do Rio</p>	<p>Gráfico dos quantis normais para temperatura mínima do Rio</p>

5. CONCLUSÃO

A análise estatística do presente trabalho observou, que para o estado do Rio de Janeiro, a elevação das temperaturas máximas e mínimas não teve relação direta com a emissão de GEE na atmosfera. Desde que começou a ser medida nos anos 2000, foi crescente e rápida a quantidade gases estufa lançados na atmosfera, entretanto os dados ainda são escassos. Não há por exemplo um processo de medição sistemático mensal e com uma série histórica densa que possa ser insumo para uma análise detalhada de correlação estatística, ficando esta correlação diretamente relacionada a um processo qualitativo.

No que se refere ao tratamento estatístico das temperaturas, foi observado que, em 30 anos, a única temperatura que cresceu, conforme demonstrado, foi a máxima da região metropolitana que também sofreu com um intenso processo de urbanização.

Pode-se sob esta perspectiva estabelecer um vínculo ao processo de uso e ocupação do solo, e não com as emissões, apesar que considerar um aumento de urbanização implica em aumento de instalações industriais, mais automóveis sejam eles de passeio ou veículos pesados e aumento de consumo de produtos e serviços.

Obviamente seria prematuro afirmar, com o presente trabalho a completa ausência de relação, devido, principalmente, a ausência de dados históricos mais antigos, e longo período de medição (são medidos a cada cinco anos), mas para o contexto temporal e metodológico utilizado seria necessária uma contabilização por um período igual de tempo sobre as emissões de gases de efeito estufa.

Quando observada a relação da temperatura a partir do ano de 2002, constatou-se que não houve acréscimo significativo de temperatura no mesmo período em que se obteve os dados de emissões. Foi possível identificar uma pequena variação positiva na temperatura mínima de Resende, que não acompanhou a curva ascendente positiva das emissões.

Dentro da presente perspectiva, sugere-se que novas pesquisas sejam implementadas no sentido estabelecer esta relação, e um maior aprofundamento das razões da elevação de temperatura na região metropolitana, que pode estar intimamente vinculada ao fenômeno da ilha de calor urbana.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, Thomas R.; HAWKINS, Ed; JONES, Philip D. **CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models.** Endeavour, [S. l.], v. 40, n. 3, p. 178–187, 2016. DOI: 10.1016/j.endeavour.2016.07.002.

BARIONI JUNIOR, W. ; COLDEBELLA, A ; PAIVA, D P de . **Estatística aplicada a dados ambientais: influência da qualidade d'água da sub-bacia do Lajeado dos Fragosos sobre a população de borrachudos.** Embrapa - Comunicado Técnico 338, 2003 (Publicação EMBRAPA).

BESSAT, F. A. **A mudança climática entre ciência, desafios e decisões: olhar geográfico.** Terra livre. São Paulo. Ano 19, v. 1, n. 20, jan/jul – 2003.

CORRÊA, P. B., CANDIDO, L. A., de SOUZA, R. A. F., ANDREOLI, R. V., KAYANO, M. T. **Estudo do Fenômeno da Ilha de Calor na Cidade de Manaus/AM:Um Estudo a Partir de Dados de Sensoriamento Remoto, Modelagem e Estações Meteorológicas.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 2, 167-176, 2016

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e estatística.** 2. ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003. 116 p.

CULOTTA, E. 1991. **Science's 20 Greatest Hits Take Their Lumps.** Science, 251(4999):1308-1309. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.251.4999.1308>] Desonie D. 2008. **Climate: Causes and Effects of Climate**

DUARTE, D.H.S. ; SERRA, G.G.; **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador.** Ambiente Construído, Porto alegre v.3 n.2 2003. Disponível em <<https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3447/1862> > Acesso em : 12/10/2020

FERRARI, A., VECCHIA, F., & COLABONE, R.. **Tendência e variabilidade anuais da temperatura e da pluviosidade em Pirassuntunga-SP.** Revista Brasileira de Climatologia (2012), 10(1).

INEA – Instituto Estadual do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (2017). **Inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Estado do Rio de Janeiro: ano base 2015: resumo técnico / Secretaria do Ambiente.** – Rio de Janeiro, 2017. 48 p. :

IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [S. l.], p. 996, 2007. DOI: 10.1038/446727a.

IPCC. PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Aquecimento Global de 1,5°C.Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza.** Disponível em < <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf> > Acesso em : 12/10/2020

IPCC. **Special Report on global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways** Special Report, Intergovernmental Panel on Climate Change. [s.l: s.n.].

MATHEZ, Edmond A.; SMERDON, Jason E. Climate Change **The Science of Global Warming and Our Energy Future**. 2a ed. New York.

MEDEIROS, Raimundo Mainar De; CAVALCANTI, Enilson palmeira. **Tendência climática das temperaturas do ar no município de Bom Jesus do Piauí, Brasil**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e315973882, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.3882.

NETO, José Valladares et al. Boxplot: **um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos**. Revista Odontológica do Brasil Central, v. 26, n. 76, 2017

OKE, T. R. City size and the urban heat island. Atmospheric Environment, Oxford, v.7, p.769-779, 1973.

OLIVEIRA, M. J. ; Carneiro, Celso Dal Ré ; BAPTISTA, G.M.M. ; VECCHIA, F. A. S. . **Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima**. REVISTA TERRAE DIDATICA , v. 13, p. 149, 2017

OLIVEIRA, M. J.; BAPTISTA, G.M.M.; VECCHIA, F. A. S.; CARNEIRO, CELSO DAL Ré. **História geológica e Ciência do Clima: métodos e origens do estudo dos ciclos climáticos na Terra**. Terrae (Online) , V. 12 , P. 03-26 , 2015

PAES, ngela Tavares. **Por dentro da estatística**. Einstein: Educ. Contin. Saúde, v. 6, p. 107-108, 2008.

Pinheiro, C.R.; Souza, D.D.A IMPORT NCIA DA ARBORIZAÇÃO NAS CIDADES E SUA INFLUÊNCIA NO MICROCLIMA. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental** . V.6, n.1 2017, Florianópolis,SC Disponível em <
http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/4179/3066 >
 Acesso em : 12/10/2020

RIBEIRO, S. K. **O álcool e o aquecimento global**. Rio de Janeiro: CNI/COINFRA/COOPERSUCAR, 1997. 112p.

SALVIANO, M. F., GROPP02, J. D., PELLEGRINO, G. Q. **Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 1, 64-73, 2016

SEINFELD, John H.; PANDIS, Spyros N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. 3a ed. New Jersey.

SOARES, Wagner R.; MARENGO, Jose A.; NOBRE, Carlos A. **Assessment of warming projections and probabilities for Brazil**. Climate Change Risks in Brazil, [S. l.], p. 7–30, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-92881-4_2.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

CARACTERIZAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO LIXÃO EM CABO FRIO, RJ

CHARACTERIZATION OF THE EMISSION OF GREENHOUSE GASES FROM THE DUMPING GROUND IN CABO FRIO, RJ

Raimundo Nonato Costa Lima Junior- IFFluminense/PPEA

Manildo Marcião de Oliveira- IFFluminense/PPEA

Sérgio Machado Correa- Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Víctor Barbosa Saraiva- IFFluminense/PPEA

RESUMO

A falta de empresas no mercado fluminense que sejam capacitadas para realização de inventários e planos de mitigação de Gases do Efeito Estufa (GEE) no estado do Rio de Janeiro, mostra uma lacuna num mercado que é potencialmente promissor. Segundo a Instrução Normativa Nº 64 e 65 do INEA (2012), na indústria e em aterros sanitários há a necessidade de realização de inventários anuais. Nesse sentido, o objetivo desse artigo foi realizar um inventário das emissões atmosféricas no lixão desativado da Baía Formosa, na cidade de Cabo Frio, estado do Rio de Janeiro. Foram utilizados métodos quantitativos e qualitativos de pesquisa para a caracterização dos GEE provenientes do lixão inativado da cidade de Cabo Frio e coletadas amostras através de seringas do ar atmosférico para análises que posteriormente foram analisadas utilizando o método de cromatografia gás, uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG) na elaboração de mapas para caracterização da área do terreno do lixão e a realização de inventário dos GEE com o programa GHG Protocol. Observou-se que as concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O, estão próximas às médias mundiais. Os resultados indicam que a atual condição do lixão inativado gera produção de GEE, quando comparado com uma região fora da sua área de influência.

Palavras chave: Lixão. Efeito Estufa. Metano

ABSTRACT

The lack of companies in the Fluminense market that are trained to carry out inventories and mitigation plans for Greenhouse Gases (GHG) in the state of Rio de Janeiro, shows a gap in a market

that is potentially promising. According to INEA's (2012) Normative Instruction No. 64 and 65, in industry and landfills there is a need for annual inventories. In this sense, the objective of this article was to carry out an inventory of atmospheric emissions at the deactivated landfill in the beautiful bay, in the city of Cabo Frio, state of Rio de Janeiro. Quantitative and qualitative research methods were used for the characterization of the GHG coming from the inactivated landfill in the city of Cabo Frio and atmospheric air samples were collected for analysis using the gas chromatography method, the use of Geographic Information System (GIS) in the elaboration of maps for the characterization of the landfill terrain area and the realization of GHG inventories with the GHG Protocol program. It was observed that the concentrations of CO₂, CH₄ and N₂O, are close to the world averages. The results indicate that the current condition of the inactivated landfill generates GHG production, when compared to a region outside its area of influence.

Keywords: *Dumping. Greenhouse effect. Metane.*

1. INTRODUÇÃO

A poluição é um tema muito complexo devido às diversas formas na qual ela está caracterizada e de qual forma ela acontece, ocorrendo diversos tipos de ambientes que são poluídos diariamente pela ação humana. A poluição nos tempos contemporâneos, por despejo inadequado dos resíduos sólidos, está presente nos ambientes aquáticos, terrestres e no ambiente atmosférico (COSTA *et al.*, 2016).

Segundo Pinheiro (2018), um dos impactos relacionados à lixões é a emissão de gases poluentes indutores do efeito estufa na atmosfera, contribuindo para o aumento da temperatura global.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Poluição Atmosférica

A Política Nacional de Meio Ambiente, Lei 6.938/81 classifica a poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que prejudiquem direta ou indiretamente a saúde, segurança e o bem-estar da população, condições adversas às atividades sociais, econômicas, a biota, estéticas ou sanitárias, que lancem matéria ou energia fora de padrões ambientais.(PNMA,81)

Analisando a descrição da referida lei, não está definido poluição como uma ação antrópica e/ou natural e mesmo se as duas formas podem ser consideradas como poluição.

A definição de poluição fica bastante diversa quando Nass (2008) relata que a poluição é um fenômeno provocado pelo homem, que resulta numa alteração ecológica abrangente, modificando e prejudicando recursos naturais, econômicos e sociais, mas nem toda alteração ecológica seria causada pela poluição e sim por uma contaminação.

Leal (2012) afirma que contaminação é um caso particular de poluição ambiental, mas que poluição não necessariamente seria uma contaminação.

Em 2015, tendo como ano base 2014, o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do estado do Rio de Janeiro, considera as emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6). O inventário adota os parâmetros do IPCC AR-5 (IPCC 2013) para calcular o potencial global de aquecimento (*Global Warming Potencial* – GWP).

Sarnighausen (2011) descreve que as contribuições dos GEE são convertidas em carbono equivalente ($\text{CO}_2\text{eq.}$) para avaliar o GWP. Braga et al. (2005) diz que conforme o incremento nos níveis de GEE relacionado às emissões antrópicas, há um aumento na quantidade de energia mantida na atmosfera por causa da absorção de calor que seria emitido pela superfície do planeta, na forma de radiação infravermelha.

2.2. Emissões de GEE em lixões / aterros não controlados

Os resíduos sólidos urbanos são um grande desafio para o Brasil. A gestão e disposição final desses resíduos mostra a necessidade de uma sinergia entre todos os atores da sociedade brasileira para a melhor resolução deste problema.

O Ministério do Meio Ambiente (2010), descreve que aterro sanitário é uma obra de engenharia construída sobre critérios técnicos com a finalidade para dispor os resíduos sólidos urbanos de maneira correta e não causar danos ao meio ambiente. Já na descrição de lixão, o MMA (2010) relata que é a maneira inadequada de disposição dos resíduos sólidos urbanos sobre o solo sem nenhuma impermeabilização, sem drenagem ou sistemas de drenagem do lixiviado e gases, com potenciais danos à saúde pública e ao meio ambiente. Já um aterro controlado, seria o local onde os resíduos dispostos teriam algum tipo de controle, porém fora das normas ambientais, com alguma gestão ambiental, como controle de entrada e cobertura dos resíduos.

Neste direcionamento, em 2010, foi criada a Política Nacional de Resíduos sólidos, Lei nº 12.305/2010, na qual dispõe de objetivos e instrumentos, com a finalidade de regulamentar a gestão

integrada e o gerenciamento de resíduos, incluindo os perigosos. Ela não se aplica a resíduos radioativos, que são regulados por legislação específica.

Segundo o Relatório do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017) 40,9 % dos resíduos, foram depositados em locais inadequados ou lixões no Brasil ou 3.352 municípios representando um volume de 29 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados sem as devidas medidas de funcionamento legal.

Conforme o Inventário de GEE do Estado do Rio de Janeiro de 2015, é informado que o setor de resíduos sólidos foi responsável pela emissão de 25,3 Giga toneladas (Gg) de CO₂, 127,8 Gt de CH₄ e 0,003 Gt de N₂O, totalizando 3.605,0 Gt de CO₂ eq

O inventário registra outros tipos de resíduos, mas o foco da pesquisa são os resíduos sólidos urbanos, dispostos em aterros sanitários, aterros controlados ou lixões. Ele descreve somente as emissões estimadas em lixões do CH₄ que fica na ordem de 6,4 Gg CH₄.

Segundo o IPCC (2014) as emissões no ano de 2010 foram as mais altas da história desses gases, mudando o balanço de energia do sistema, sendo as maiores em 800.000 anos desde a primeira revolução industrial.

A produção de GEE acontece em aterros sanitários e segundo Borba et al (2016) acontece na decomposição decorrente de uma série de ações microbianas, físico-químicas, entre as diferentes camadas de disposições de resíduos e a sua cobertura.

Neste sentido há pesquisas que buscam maneiras de oxidar o metano onde a captação para a exploração não seja economicamente viável, onde Lopes et al (2010) as descrevem como camadas metanotróficas, que funcionam com determinadas características dos solos, com a presença de metano e ação de microrganismos de forma a oxidar o gás ao longo do perfil do solo.

2.3 Inventário de Gases de Efeito Estufa

Segundo o programa brasileiro *GHG Protocol* o inventário de emissões é uma espécie de raio x de todos os gases produzidos em operações, produtos e serviços de organizações, sejam elas privadas ou públicas para o desenho estratégico da economia para redução e gestão dessas emissões.

Este inventário é produto da Política Nacional sobre Mudanças do Clima Lei nº 12.187/09 que determina ao país reduzir suas emissões entre 36,0 a 38,9 % em relação ao ano de 2005, segundo o SEEG (2018).

O programa foi implementado em 2008 numa parceria da Fundação Getúlio Vargas e o Governo Federal. Ele tem como objetivo estimular a elaboração e publicação de inventários de emissões de GEE, proporcionando aos participantes acesso à instrumentos e padrões de qualidade internacional.

O método foi adaptado ao contexto nacional pelo GVces e pelo WRI em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, com o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), com o World Business Council for Sustainable Development (WBSCD) e 27 Empresas Fundadoras. A aplicação do método GHG Protocol no Brasil acontece de forma adaptada ao contexto nacional. O Programa Brasileiro organiza grupos de trabalho, junto às empresas participantes, para o aperfeiçoamento do método e desenvolvimento de novas ferramentas para a contabilização de emissões de GEE de acordo com a realidade brasileira. (GHG Protocol FGV, 2019)

Realizar inventário de Gases de Efeito Estufa segundo os critérios do programa brasileiro - *GHG Protocol*. Verificar se o lixão desativado da cidade de Cabo Frio está emitindo Gases de Efeito Estufa em concentrações consideradas contribuintes à mudança climática.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Material

Para a coleta do ar atmosférico no interior do Lixão de Cabo Frio, foram utilizadas seringas de polipropileno de 60 mL, equipadas com válvulas de vedação.

Para a caracterização espacial foi utilizado o aplicativo GPS digital, web *Geo Essentials*. Na confecção do mapa utilizou-se o *Software* de Geoprocessamento *Quantun Gis* versão 3.12.4. Também foi baixado o arquivo com as malhas dos municípios do estado do Rio de Janeiro no Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2018), com a utilização do arquivo de imagens de satélite do Google satélite já inserida dentro do *Software* QGis 3.12.4.

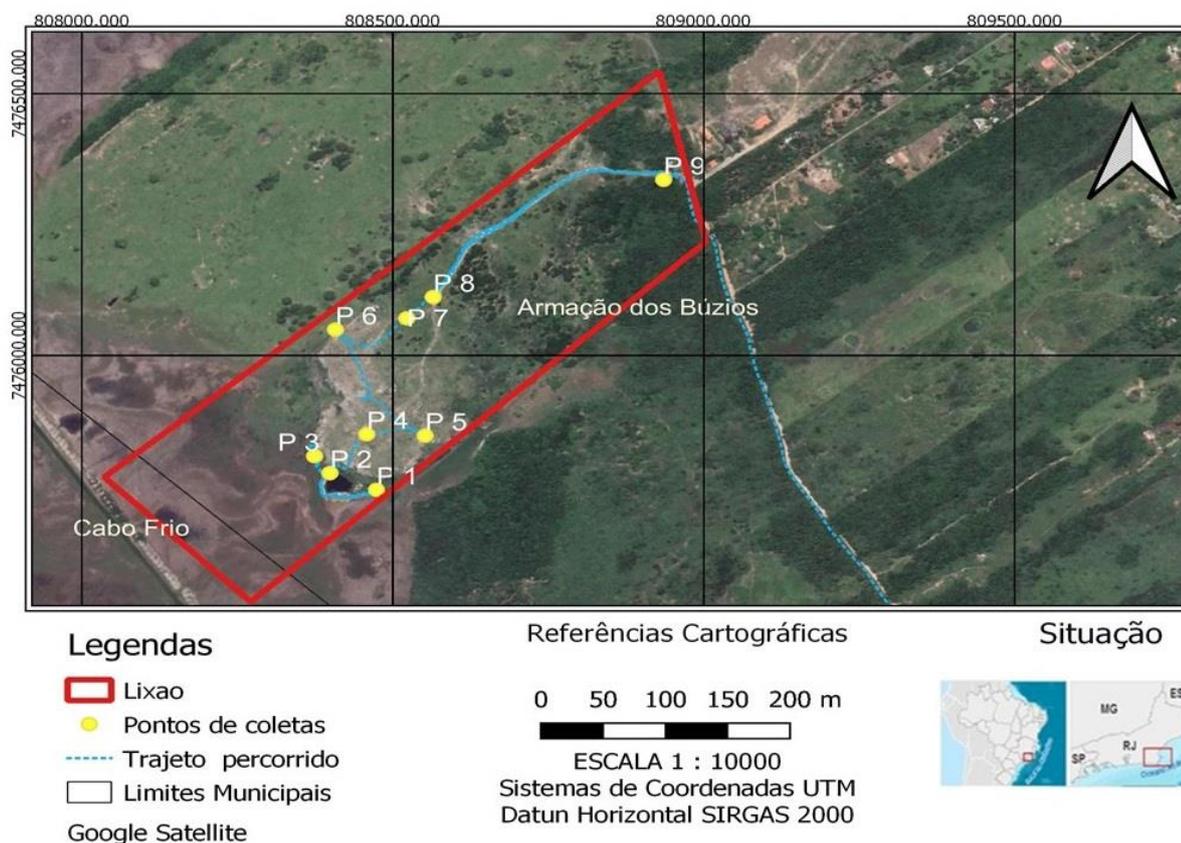
3.2. Método

A região objeto de estudo da pesquisa é uma área que foi durante muito tempo utilizada como depósito de lixo pela cidade de Cabo Frio.

A região fica localizada na divisa de dois municípios, Cabo frio e Armação de Búzios, denominada Baía Formosa. Segundo explica Spillmann (2016) a região servia de depósito de resíduos

urbanos sem tratamento, no qual não possuía um sistema de coleta do chorume, nem coleta do biogás produzido, com possível contaminação do lençol freático. Na Figura 1 está a localização do terreno objeto de estudo, limites e os pontos de coleta do ar atmosférico para análise dos GEE. A região estudada está inserida na Bacia hidrográfica do rio Una, segundo o INEA (2012)

Figura 1 – Mapa do Lixão de Cabo Frio



Fonte: AUTORES, 2020

As amostras armazenadas foram analisadas por cromatografia de fase gasosa com múltiplos detectores, seguindo a metodologia descrita por Silva et al. (2016), onde foram quantificadas as concentrações de CO_2 , CH_4 e N_2O . O equipamento utilizado para as medições foi um *Agilent 7890A*, com um detector de captura de elétrons, um detector de condutividade térmica e um detector de ionização na chama, para a quantificação de N_2O , CO_2 , e CH_4 , respectivamente.

Para a realização do Inventário de GEE foi utilizada a planilha do programa brasileiro *GHG Protocol*, escopo 1, onde a quantificação do CO_2 equivalente segue a metodologia do IPCC (2006).

Para o estudo estatístico e confecção dos gráficos, foi utilizado a Linguagem R, com a interface Rstudio versão 2020 6.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando como parâmetro do *GHG Protocol* e o aterro sanitário, foi calculado a quantidade de CO₂ equivalente do lixão inativado da Baía Formosa, Cabo Frio.

O relatório do inventário é uma simulação baseada em dados padrão, pois como não existem dados oficiais a respeito do lixão de Cabo Frio foi feita uma simulação com dados da produção de lixo *per capita* por dia na região sudeste que é de 1,02 kg de lixo, segundo o relatório de 2017 da ABRELPE, e o inventário é referente ao ano de 2018, como resultado foi observado emissões totais de 262.792 t métricas de CO_{2eq}

O programa *GHG Protocol* utiliza métodos de quantificação do IPCC (2006), criados para climas boreais, temperados e tropicais do hemisfério norte (CETESB, 2010). Para o hemisfério sul não existem parâmetros como fatores de emissões locais para lixões que diminuiriam a incerteza do resultado.

Nesse contexto, para que haja um melhor conhecimento das emissões de GEE do lixão da Baía Formosa foram realizadas medições ambientais de N₂O, CH₄ e CO₂ apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Pontos de coletas e concentração dos GEE dentro do Lixão da baía formosa.

Pontos	N₂O	CH₄	CO₂	Data	Locais
	ppm	ppm	ppm		
P1	0,356	1,528	421,99	21/01/2020	Lado Esquerdo lagoa Canal de Drenagem
P2	0,356	1,528	421,99	21/01/2020	Aroeira / lagoa
P3	0,352	1,595	419,95	21/01/2020	Parte baixa fazenda
P4	0,353	1,640	414,57	21/01/2020	Platô Forrageira
P5	0,354	1,804	672,86	21/01/2020	Borda esquerda
P6	0,357	2,909	410,65	21/01/2020	Canal de Drenagem direito
P7	0,353	1,631	417,74	21/01/2020	Centro 1
P8	0,353	1,591	412,72	21/01/2020	Centro 2
P9	0,355	1,717	409,89	21/01/2020	Saída arbóreo
P10	0,356	1,596	417,85	21/01/2020	Sede IFF
P11	0,354	1,567	414,09	21/01/2020	Lagoa campus

Fonte: AUTORES, 2020

É possível notar que a concentração de N_2O se mantém constante em todos os pontos coletados, só havendo alteração na terceira casa decimal. Ele é resultado do processo de decomposição da matéria orgânica por bactérias no solo e oceano (Sordi *et al.*, 2013). Pode-se considerar desta forma que não há emissões locais significantes e que este valor de N_2O refere-se à média local.

A concentração de CH_4 apresenta-se maior no ponto P6 quando comparado aos demais pontos analisados, nessa área ocorre uma maior ausência de vegetação o que gera uma menor cobertura do solo e um conseqüente aumento de fissuras, podendo ocasionar a maior liberação de metano.

Já em relação ao CO_2 , o ponto P5 apresenta uma concentração acima das coletadas nos demais pontos, sendo também uma área com pouca vegetação o que pode fazer diferença na concentração do gás nesse local.

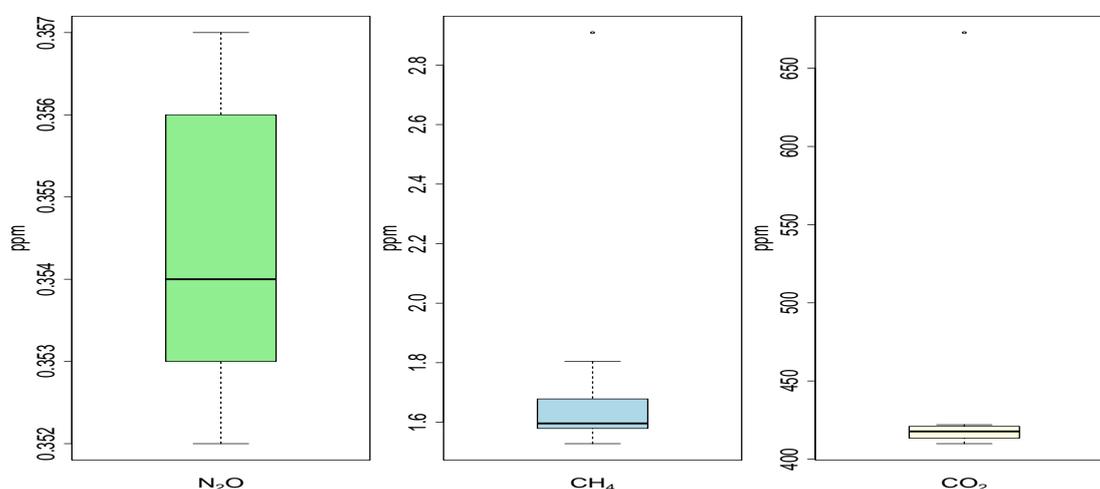
Uma melhor visualização dos valores dos GEE coletados pode ser observados por meio dos *boxplot* da Figura 2.

Como pode ser observado, para as medidas de CH_4 e CO_2 existem 2 pontos considerados outliers, respectivamente nos Pontos 6 e 5.

Os valores obtidos das concentrações para o CO_2 do ar atmosférico no lixão da Baía Formosa são similares aos valores observados no estudo de Borba *et al.* (2018) que ocorreu no aterro sanitário da cidade de Seropédica (RJ). A média do CH_4 no estudo em Seropédica foi de 50,7 ppm e com relação ao CO_2 no mesmo local foi de 472,3 ppm, no lixão de Cabo Frio a média do CH_4 foi de 1,73 ppm e do CO_2 foi de 439,48 ppm.

No estudo de Seropédica não foi mencionado o N_2O . Entretanto, no estudo de Seropédica os gases foram coletados por um dispositivo que coletava todo o gás emanado do aterro, sem a interferência do ar ambiente.

Figura 2. Boxplot dos valores de GEE obtidos do lixão da baía formosa.



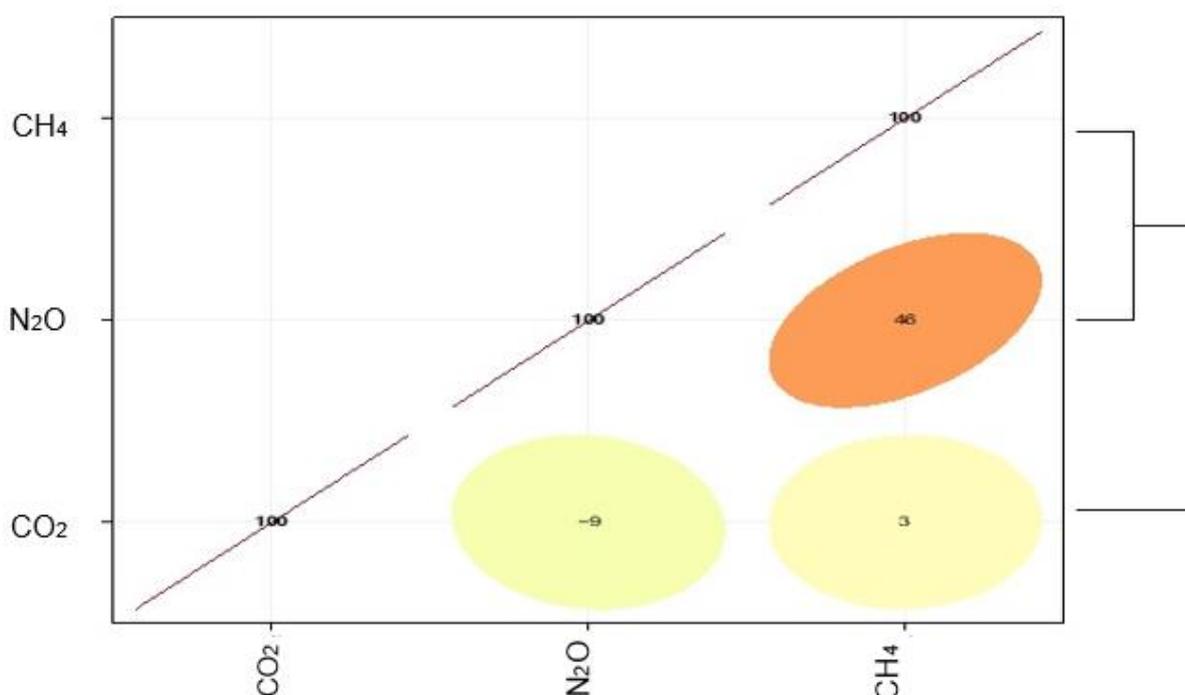
Fonte: Autores, 2020

Comparando os dados obtidos com o parâmetro mundial aferido pela *U.S. EPA* (2016) para o CH_4 , a média mundial desse gás está mensurada em parte por bilhão (ppb), o resultado do CH_4 é de 1.750 ppb, a média do N_2O é 350 ppb e o CO_2 foi de 410 ppm.

Os resultados das médias do lixão de Cabo Frio demonstram uma alta concentração dos GEE acompanhando a média mundial. O CO_2 na média mundial segundo a *U.S. EPA* (2016), foi de 410 ppm e no lixão a média da concentração foi de 439,48 ppm.

Agrupando-se os valores dos 3 GEE estudados foi construída uma matriz de correlação pela metodologia de Pearson, incluindo um agrupamento hierárquico baseado em distâncias Euclidianas, conforme a Figura 3.

. **Figura 3. Matriz de correlação dos GEE coletados no Lixão da baía formosa.**



Fonte: Autores 2020

Pode-se observar pela Figura 3 que o CO_2 tem pouca relação com os outros GEE. Já o CH_4 e N_2O possuem uma média correlação, tanto pelo valor como pelo agrupamento hierárquico apresentado à direita da Figura 3. Isso pode indicar que o processo de formação de CH_4 e N_2O pode ter a mesma origem.

5. CONCLUSÃO

A partir do estudo da produção de GEEs do lixão da Baía Formosa, foi observado que no lixão de Cabo Frio há uma alta concentração dos GEE, acompanhando a média mundial. Também foi observado que os gases CH₄ e N₂O podem possuir a mesma origem. Esses dados servem como parâmetro para atender as Normativas 64 e 65 do INEA (2012), por conta da necessidade de realização de inventários anuais para a indústria e aterros sanitários. Esses dados também possibilitam o monitoramento do Lixão e tomadas de decisões para ações mitigatórias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Urbana (Abrelpe) **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2017**; Disponível em: <http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf> Acesso em 01/08/2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

Borba, P. F. de Sá; Martins, E.M., Correa, S. M., Ritter, Elisabeth. **Emissão de gases do efeito estufa de um aterro sanitário no Rio de Janeiro**. Artigo Técnico. Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2018, vol.23, n.1, pp.101-111: Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v23n1/1809-4457-esa-23-01-101.pdf> > Acesso em: 15/07/2019

International Panel Climate Change (IPCC) . Climate change 2014 Synthesis Report. Disponível em: < https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf > Acesso em : 15/07/2019

LEAL., F. C. T. **Contexto e Prática da Engenharia Sanitária e Ambiental**. UFJF. Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. 3ª ed, 2012.

Lopes, R. L.; José Jucá, F. T. ; Mariano, M. O. H. ; Felipe Jucá Maciel. **Camadas cobertura metanotróficas como alternativas para gerenciamento de gases de efeito estufa em aterros sanitários**

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

NASS, D. P. ,**O Conceito de Poluição**. Revista Eletrônica de Ciências. Número 13, Novembro de 2002. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_13/poluicao.html>.

Rio de Janeiro (Estado). Secretaria do Ambiente. **Inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Estado do Rio de Janeiro : ano base 2015** : resumo técnico / Secretaria do Ambiente. – Rio de Janeiro, 2017. 48 p. : il. Col

RStudio Team (2020). **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA Disponível em : < <http://www.rstudio.com/>. > Acesso em 25/05/2020

SARNGHAUSEN, V.C.R., **Revisão Sistemática e Metassíntese: medições de Gases de Efeito Estufa(GEE) Emitidos Pela Pecuária Bovina**. 149 pg. Universidade de São Paulo.Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros.2011. Disponível em < file:///C:/Users/Maria%20Lu/Downloads/Valeria_Cristina_Rodrigues_Sarnighausen.pdf> acesso em 01/05/2018.

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, 778-786, 2016.

Silva, C. M. ;* Tsuruta, F.; Rodrigues, J. C.; Vieira, F.; Arbilla, G. **Simulação das Trajetórias de Poluentes em Eventos Naturais e Antropogênicos**, Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (6), no prelo. Data de publicação na Web: 12 de dezembro de 2018

Sistemas de Estimativas de Gases de efeito estufa (SEEG). Disponível em: < <http://seeg.eco.br/oque-e-o-seeg/> > Acesso em 01/04/2018

SORDI, A.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; ALBURQUERQUE, M. A.;PIVA, J. T.; ZANATTA, J. A.; TOMAZI, M.; ROSA, C. M. da; MORAES, A. de. **Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland**. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 181, 2013.

Spillman, C.V. ; **Implantação de coleta seletiva em meios de hospedagem em municípios turísticos caso de armação dos búzios (rj)** , Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio Disponível em < <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=19088@1>> Acesso em: 30/07/2019

Comitê das Bacias Hidrográficas das Lagoas de Araruama e Saquarema e dos Rios São João e Una, Instituto estadual do ambiente. INEA 2012. Disponível em < http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/CBH-LSJ_Regimento-Interno.pdf > Acesso em 10/09/2020

Alves, João Wagner Silva; Vieira, Sônia Maria Manso. **Emissões de gases de efeito estufa no tratamento e disposição de resíduos. Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa relatórios de referência**. Ministério da Ciência e Tecnologia 2010. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo- CETESB 2010. Disponível em < https://cetesb.sp.gov.br/biogas/wp-content/uploads/sites/3/2014/01/brasil_mcti_residuos1.pdf > Acesso em: 08/10/2020

COSTA, T. G. A.; IWATA, B. F.; CASTRO, C. P.; COELHO, J. V.; CLEMENTINO, G. E. S.; CUNHA, L. M. **Impactos ambientais de lixão a céu aberto no Município de Cristalândia, Estado do Piauí, Nordeste do Brasil**. Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent. [online]. 2016, vol. 3, n. 4, p. 79-86. ISSN 2359-1412. DOI: 10.21438/rbgas.030408 . Disponível em: < <http://revista.ecogestaobrasil.net/v3n4/v03n04a08.html> > Acesso em : 01/10/2020

PINHEIRO, L. T. ; **fluxos de dióxido de carbono e metano de um lixão na amazônia ; universidade federal do pará – ufpa instituto de geociências programa de pós-graduação em ciências**

ambientais; Belém - PA 2018 Disponível em : <
http://200.239.66.58/jspui/bitstream/2011/11045/1/Dissertacao_FluxosDioxidoCarbono.pdf > Acesso
em: 10/10/2020

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2016) Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases. Environmental panel agency (EPA), p. 1-12. Disponível em: <
<https://www.epa.gov/climate-indicators> > Acesso em: 20/10/2020