

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

GUILHERME VIMERCATI VALLE

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR DE VOLTA REDONDA DURANTE O PERÍODO
DE REFORMA DO ALTO-FORNO NÚMERO 3 DA COMPANHIA SIDERÚRGICA
NACIONAL**

VOLTA REDONDA, RJ

2021

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR DE VOLTA REDONDA DURANTE O PERÍODO
DE REFORMA DO ALTO-FORNO NÚMERO 3 DA COMPANHIA SIDERÚRGICA
NACIONAL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental,

Aluno: Guilherme Vimercati Valle
Orientador: Prof. Dr. Amarildo de Oliveira Ferraz.

Coorientador: Prof. Me Sérgio Ricardo Bastos de Mello.

VOLTA REDONDA, RJ

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno:

Guilherme Vimercati Valle

Título da monografia:

Análise da qualidade do ar de Volta Redonda durante o período de reforma do Alto-Forno número 3 da Companhia Siderúrgica Nacional.

Orientador: Prof. Dr. Amarildo de Oliveira Ferraz.

Coorientador: Prof. Me. Sérgio Ricardo Bastos de Mello.

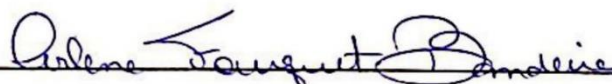
Banca examinadora:



Prof. Dr. Amarildo de Oliveira Ferraz



Prof. Dr. Francisco Jacome Gurgel Junior



Prof. Dr. Cirlene Fourquet Bandeira

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me proporcionou saúde e proventos necessários a mim e minha família para a conclusão desta graduação.

Agradeço aos meus pais Devanil e Élide por seus esforços e dedicações para minha educação e formação intelectual.

Também agradeço a Dayana que em muito me ajudou e apoiou na conclusão desta graduação.

Agradeço especialmente, aos professores Amarildo Ferraz, Sérgio de Mello e Joice de Araujo por todo o apoio na concepção deste trabalho, bem como a todo o corpo docente do UniFOA, principalmente os professores do curso de Engenharia Ambiental, que sempre lecionaram com dedicação e excepcional qualidade.

RESUMO

A cidade de Volta Redonda no estado do Rio de Janeiro, onde se localiza a Usina Presidente Vargas operada pela Companhia Siderúrgica Nacional, atualmente enfrenta desafios para controle das emissões de poluentes atmosféricos. Durante o ano de 2019 a Companhia Siderúrgica Nacional realizou uma grande operação de manutenção no principal equipamento da Usina Presidente Vargas, o Alto-Forno n. 3. Este equipamento ficou paralisado para obras de reforma durante quatros meses daquele ano. O presente trabalho buscou através de análises de dados do monitoramento da qualidade do ar, verificar as influências que a paralisação temporária do Alto-Forno n. 3 proporcionou em relação a qualidade do ar da cidade de Volta Redonda. Diante disso, utilizou-se o método estatístico de análise de variância (ANOVA), e o método de atenuação das interferências das emissões veiculares da cidade nos resultados. Dessa maneira, concluiu-se que no período em que foi realizado a reforma do Alto-Forno n. 3 da UPV, as emissões de MP₁₀ (material particulado até 10µm) detectados a partir da estação de monitoramento Belmonte, apresentaram diferenças significantes entre as médias mensais comparadas ao mesmo período do ano anterior (2018), indicando uma redução de 54,7% destas emissões oriundas da Usina Presidente Vargas, associadas a paralisação do Alto-Forno n. 3 para as suas obras de reforma.

Palavras-chave: Qualidade do ar; Alto-Forno; Usina Siderúrgica; Volta Redonda

ABSTRACT

The city of Volta Redonda in the state of Rio de Janeiro, where the Presidente Vargas Steelworks operated by Companhia Siderúrgica Nacional is located, currently faces challenges to control emissions of air pollutants. During 2019, Companhia Siderúrgica Nacional carried out a major maintenance operation on the main equipment of the Presidente Vargas Steelworks, the Blast Furnace n. 3. This equipment was paralyzed for renovation works for four months of that year. The present work sought, through data analysis of air quality monitoring, to verify the influences that the temporary stoppage of Blast Furnace n. 3 provided in relation to the air quality of the city of Volta Redonda. Therefore, we used the statistical method of analysis of variance (ANOVA), and the method of mitigating the interferences of vehicle emissions in the city in the results. Thus, it was concluded that in the period in which the blast furnace renovation was carried out. 3 of the UPV, the MP10 emissions detected from the Belmonte monitoring station, showed significant differences between the monthly averages compared to the same period of the previous year (2018), indicating a 54.7% reduction in these emissions from the Presidente Vargas Steelworks , associated with the shutdown of Blast Furnace n. 3 for their renovation works.

Keywords: Air quality; Blast furnace; Steel Plant; Volta Redonda

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problema Abordado	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Estratégia de pesquisa	15
1.4	Objetivo Geral	15
1.4.1	Objetivos específicos	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Atmosfera terrestre e a poluição atmosférica	17
2.2	Classificação de poluentes atmosféricos	18
2.2.1	Material particulado	19
2.2.1.1	Classificação do material particulado por formato	20
2.2.1.2	Classificação do material particulado por tamanho	21
2.2.2	Óxidos de nitrogênio	23
2.2.3	Dióxido de enxofre	24
2.2.4	Monóxido de carbono	25
2.3	Processo siderúrgico	25
2.3.1	Usinas integradas	26
2.3.2	Coqueria e suas emissões	27
2.3.3	Sinterização e suas emissões	29
2.3.4	Alto-forno e suas emissões	30
2.3.5	Aciaria e suas emissões	32
2.4	Produção de aço no Brasil em 2019	34
2.5	A reforma do alto-forno 3 da Companhia Siderúrgica Nacional	35
2.6	A frota de veículos de Volta Redonda	38
2.7	Monitoramento da qualidade do ar em Volta Redonda	40
2.8	Resolução CONAMA	Erro! Indicador não definido.
3.	ESTUDO DE CASO	46

3.1	Metodologia	46
3.2	Caracterização de Volta Redonda	47
3.3	Trânsito típico de veículos em Volta Redonda	50
3.4	Origem dos dados utilizados	51
3.5	Método de atenuação das emissões veiculares	52
3.6	Descrição do método estatístico ANOVA	55
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1	Detecções aferidas de MP₁₀ na estação de monitoramento Belmonte ..	58
4.2	Demais resultados aferidos	61
5.	CONCLUSÕES	63
6.	REFERÊNCIAS	65
7.	APÊNDICE	74
7.1	Apêndice A	74
7.2	Apêndice B	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tempo de residência e formas de remoção de partículas na atmosfera.	22
Figura 2: Fluxograma de processo de usina integrada.....	27
Figura 3: Fluxo de produção de carboquímicos.	28
Figura 4: Fluxo de contracorrente de alto-forno.	31
Figura 5: Produção de aço bruto anual da CSN em 2019.	37
Figura 6: Alto-Forno número 3 da UPV.....	37
Figura 7: Série histórica dos números da frota de veículos de Volta Redonda/RJ.	40
Figura 8: Estação de monitoramento da qualidade do ar semiautomática	42
Figura 9: Localização das estações automáticas no município de Volta Redonda/RJ.....	43
Figura 10: Localização do município de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro.	48
Figura 11: Temperatura média mensal de Volta Redonda/RJ no ano de 2019.	49
Figura 12: Médias de umidade relativa do ar de Volta Redonda/RJ em 2019.....	49
Figura 13: Precipitação acumulada mensal no ano de 2019 em Volta Redonda/RJ	49
Figura 14: Trânsito típico de Volta Redonda/RJ no horário de 17h45 para segunda-feira....	51
Figura 15: Arquivo extraído do sítio do INEA contendo os dados da qualidade do ar	52
Figura 16: Trânsito típico de segunda-feira as 6h em Volta Redonda/RJ.....	54
Figura 17: Trânsito típico de segunda-feira as 22h em Volta Redonda/RJ.....	54
Figura 18: Médias mensais de MP ₁₀ da estação Belmonte em 2019.....	60
Figura 19: Médias mensais de PTS da estação Belmonte em 2019.	74
Figura 20: Médias mensais de SO ₂ da estação Belmonte em 2019.....	75
Figura 21: Médias mensais de MP ₁₀ da estação Retiro em 2019.....	76
Figura 22: Médias mensais de NO ₂ da estação Retiro em 2019.	77
Figura 23: Médias mensais de CO da estação Retiro em 2019.	78
Figura 24: Médias mensais de SO ₂ da estação Santa Cecília em 2019.....	79
Figura 25: Médias mensais de NO ₂ da estação Santa Cecília em 2019.....	80
Figura 26: Médias mensais de MP ₁₀ da estação Retiro em 2019.....	81
Figura 27: Médias mensais de NO ₂ da estação Retiro em 2019.	82
Figura 28: Médias Mensais de NO _x da estação Retiro em 2019.	83
Figura 29: Médias mensais de SO ₂ da estação Santa Cecília em 2019.....	84
Figura 30: Médias mensais de NO ₂ da estação Santa Cecília em 2019.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição do ar limpo e seco.	17
Tabela 2: Classificação dos poluentes atmosféricos.	19
Tabela 3: Nomenclatura e faixas de diâmetro de material particulado.	22
Tabela 4: Emissões atmosféricas da coqueria.	29
Tabela 5: Emissões atmosféricas da sinterização.	30
Tabela 6: Emissões atmosféricas de alto-forno.	32
Tabela 7: Emissões atmosféricas da aciaria.	33
Tabela 8: Produção brasileira de aço bruto em 2019 por estados.	34
Tabela 9: Empresas produtoras de aço no Brasil e suas produções em 2019.	35
Tabela 10: Ranking de municípios do Estado do Rio de Janeiro em frota de veículos.	39
Tabela 11: Ranking de municípios do Brasil em frota de veículos.	39
Tabela 12: Estações de monitoramento da qualidade do ar de Volta Redonda.	41
Tabela 13: Resolução CONAMA n. 491 de 19 de novembro de 2018.	44
Tabela 14: ANOVAs realizadas e suas respectivas características.	57
Tabela 15: ANOVA#2 realizada para MP ₁₀ na estação Belmonte.	59
Tabela 16: Resultados das ANOVAs realizadas.	61
Tabela 17: ANOVA#1 de PTS da estação Belmonte.	74
Tabela 18: ANOVA #1 de SO ₂ da estação Belmonte.	75
Tabela 19: ANOVA #1 de MP ₁₀ da estação Retiro.	76
Tabela 20: ANOVA#1 de NO ₂ da estação Retiro.	77
Tabela 21: ANOVA#1 de CO da estação Retiro.	78
Tabela 22: ANOVA #1 de SO ₂ da estação Santa Cecília.	79
Tabela 23: ANOVA #1 de NO ₂ da estação Santa Cecília.	80
Tabela 24: ANOVA #2 de MP ₁₀ da estação Retiro.	81
Tabela 25: ANOVA #2 de NO ₂ da estação Retiro.	82
Tabela 26: ANOVA #2 de NO _x da estação Retiro.	83
Tabela 27: ANOVA #2 de SO ₂ da estação Santa Cecília.	84
Tabela 28: ANOVA #2 de NO ₂ da estação Santa Cecília.	85

LISTA DE SIGLAS

AF#3	Alto-Forno número 3
ANOVA	<i>Analysis of variance</i>
BOF	<i>Basic Oxygen Furnace</i>
BTX	Benzeno, Tolueno e Xileno
C	Carbono
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFC	Clorofluorcarboneto
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COHb	Carboxihemoglobina
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
EAF	<i>Electric Arc Furnace</i>
GAC	Gás de Coqueria
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
HC	Hidrocarbonetos
HF	Fluoreto de Hidrogênio
HNO ₃	Ácido Nítrico
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
LD	<i>Linz e Donawitz</i>
MP	Material Particulado
MP ₁₀	Material Particulado de diâmetro menor ou igual a 10 micra
N.	Número
NH ₃	Amônia
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
NO _x	Óxidos de Nitrogênio

O*	Oxigênio Monoatômico
O ₂	Gás Oxigênio
O ₃	Ozônio
PAN	Peroxiacetilnitrato
PBN	Peroxibenzolnitrato
PTS	Partículas Totais em Suspensão
RJ	Rio de Janeiro
RMP	Região do Médio Paraíba
SO ₂	Dióxido de Enxofre
UPV	Usina Presidente Vargas
UV	Radiação Ultravioleta
XLS	<i>Extensible Stylesheet Language</i>

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A	74
Apêndice B	81

1. INTRODUÇÃO

Volta Redonda tem papel notório no desenvolvimento, progresso econômico e industrial do Brasil, sendo o local escolhido para construção da grande siderúrgica prevista pelas políticas de governo durante o período do Estado Novo. O então Presidente da República Getúlio Vargas criou por decreto em 9 de abril de 1941 a Companhia Siderúrgica Nacional (CPDOC, 2020). A construção de uma grande siderúrgica era importante para o desenvolvimento industrial do Brasil, visto que a maior usina produtora de aço do país, anterior a CSN, era a Belgo-Mineira, que ainda era operada utilizando carvão vegetal como combustível (BARROS, 2011).

A usina da CSN foi construída com auxílio e consultoria de projeto da empresa norte-americana Arthur G. McKee and Company, especializada em projetos e construções de usinas siderúrgicas. Participaram do corpo técnico do projeto de construção da usina 130 técnicos brasileiros e 50 norte-americanos além dos sete mil operários brasileiros vindo de diversas partes do Brasil para participarem da construção da grande usina (ALBERTI, 1999). Volta Redonda não foi somente símbolo de desenvolvimento econômico, foi palco de implantação das grandes políticas de bem-estar social aplicadas pelo Estado Novo governado pelo então presidente da república Getúlio Vargas

A história de Volta Redonda e da CSN são conectadas, a usina foi idealizada com o conceito de *company-town* (cidade-empresa) onde as moradias para os trabalhadores eram subsidiadas e diversos serviços públicos urbanos eram realizados pela administração da usina (MANGABEIRA, 1993). Esta questão em especial foi acompanhada pela necessidade de acomodar os trabalhadores. A cultura imposta por este conceito de *company-town* era notório ao verificar a configuração do espaço urbano da cidade. As casas subsidiadas pela CSN aos trabalhadores variavam em localização, tamanho e conforto em função da hierarquia de cargos dentro da usina (MOREIRA, 1996).

A oferta de mão de obra oferecida pela usina provocou uma grande expansão da mancha urbana de Volta Redonda, esta que por sua vez começou a ser desordenada e ocupando os entornos do que até então era o centro da cidade, a Usina Presidente Vargas (MOREIRA, 1996).

A verificação de forte influência histórica da CSN na concepção do espaço urbano de Volta Redonda, o vasto parque siderúrgico criado e seu colossal nível de produção de aço, fazem de Volta Redonda um caso especial onde é observado até os dias atuais, 80 anos após sua fundação, a influência da CSN na vida cotidiana da cidade.

O cenário atual é de uma enorme planta siderúrgica-integrada alocada no centro da cidade de Volta Redonda que hoje é lar de 273.988 mil (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020). A junção da concepção do espaço urbano desordenado, em sua massiva maioria muito próxima as regiões das instalações da CSN, provocam inúmeras externalidades da operação da usina com a vida na cidade de Volta Redonda.

Na cidade de Volta Redonda observa-se inúmeros problemas ambientais que decorrem principalmente pelas atividades industriais da siderurgia. Destaca-se dentre esses problemas, a poluição atmosférica oriunda do processo de produção do aço e outras atividades industriais, a poluição das águas causada pelos efluentes não tratados, principalmente pelos esgotos sanitários despejados no rio Paraíba do Sul e a contaminação de resíduos sólidos (lixo industrial e domiciliar). Estes problemas ambientais atingem desigualmente o espaço da cidade, gerando áreas críticas onde percebe-se diferentes intensidades destas poluições ambientais (PEITER; TOBAR, 1998).

Este trabalho busca analisar as relações entre as atividades referentes a vida na cidade de Volta Redonda e a operação da Usina Presidente Vargas sob a ótica da reforma do Alto-Forno n. 3 da UPV durante o ano 2019 em que este equipamento ficou paralisado durante quatro meses.

1.1 Problema Abordado

A problemática inicial do trabalho leva em conta o cenário de emissões atmosféricas na qual a cidade de Volta Redonda está inserida, em decorrência da presença em sua circunvizinhança da Usina Presidente Vargas, operada pela Companhia Siderúrgica Nacional, que é responsável por emissões intrínsecas ao processo de fabricação do aço, bem como, as emissões relacionadas ao trânsito de veículos da cidade. A divisão das emissões referentes ao processo na Usina

Presidente Vargas e do trânsito da cidade é um desafio para mensurar o impacto que cada uma provoca na qualidade do ar do município.

1.2 Justificativa

A justificativa deste trabalho é baseada na relevância que o ar atmosférico possui em relação a qualidade de vida de todos os habitantes e do meio ambiente da cidade de Volta Redonda assim como a importância da avaliação do impacto que as emissões relacionadas ao processo siderúrgico na Usina Presidente Vargas provocam na qualidade do ar do município.

1.3 Estratégia de pesquisa

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas pesquisas e estudos que versam sobre os poluentes atmosféricos gerados no processo de fabricação do aço e seus principais impactos, a coleta de dados do monitoramento da qualidade do ar no município de Volta Redonda, realizado pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente, além do uso de modelos estatísticos adequados para avaliação e análise destes dados.

1.4 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar a qualidade do ar do município de Volta Redonda, verificando os parâmetros diretamente ligados ao processo de fabricação do aço realizado na Usina Presidente Vargas, examinando o comportamento dos poluentes atmosféricos, durante o período que o Alto-Forno n. 3 ficou paralisado em decorrência das obras de sua reforma, e dessa maneira, produzir conhecimentos úteis para a avaliação do real impacto que a paralisação deste, que é o principal equipamento da usina, acarreta na qualidade do ar do município de Volta Redonda.

1.4.1 Objetivos específicos

- Compreender os poluentes atmosféricos relacionados ao processo siderúrgico através de estudos da literatura acadêmica sobre o assunto;
- Coletar os dados do monitoramento da qualidade do ar do município de Volta Redonda dos anos de 2018 e 2019;
- Realizar a modelagem dos dados para produção de análises específicas que visam identificar os parâmetros que são diretamente ligados as emissões da produção siderúrgica;
- Realizar através de modelos estatísticos a validação das análises afim de produzir conhecimento a ser aplicado no estudo deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Atmosfera terrestre e a poluição atmosférica

A atmosfera terrestre é uma camada composta por radiação, gases e aerossóis que envolvem em toda extensão o planeta Terra. A vida no planeta depende intimamente das relações com a composição física e química da atmosfera, que livra os organismos de exposições perigosas à radiação ultravioleta e ainda possui a função de regular o conteúdo de gases, necessários para os processos biológicos dos organismos (DIAS, 2007).

O ar atmosférico dito limpo e seco, é a referência em composição de gases que envolvem a atmosfera terrestre. Em composição de volume observa-se a presença dos seguintes gases conforme a Tabela 1 (DIAS, 2007).

Tabela 1: Composição do ar limpo e seco.

Componente	Concentração por volume (%)
Nitrogênio (N ₂)	78,09
Oxigênio (O ₂)	20,95
Argônio (Ar)	0,93
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,035
Neônio (N)	1,8 x 10 ⁻³
Hélio (He)	5,54 x 10 ⁻⁴
Metano (CH ₄)	1,7 x 10 ⁻⁴
Criptônio (Kr)	1,0 x 10 ⁻⁴
Hidrogênio (H ₂)	5 x 10 ⁻⁵
Xenônio (Xe)	8 x 10 ⁻⁶
Ozônio (O ₃)	1 x 10 ⁻⁶

Fonte: (DIAS, 2007).

Cerca de 99% do volume do ar atmosférico é composto de nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂) respectivamente 78% e 20,95%. Apesar de representarem uma parcela muito pequena em composição volumétrica, os gases, dióxido de carbono e ozônio, a exemplo, são indispensáveis para manutenção da vida. Representam influência direta em fenômenos meteorológicos essenciais, bem como na absorção de radiação infravermelha pela atmosfera da terra, que graças a atuação da menor parcela destes

gases (dióxido de carbono e ozônio), são influenciadores diretos da temperatura média da Terra por induzirem o efeito estufa (DIAS, 2007).

Após a primeira grande revolução industrial (1760-1840) até os dias atuais, foram incorporados processos e produtos que geram emissões de poluentes em nosso ambiente natural, pode-se destacar o surgimento dos motores de combustão que para seu funcionamento, queimam combustíveis fósseis, e o surgimento de processos e indústrias químicas, petroquímicas e siderúrgicas que também contribuíram para o aumento da geração de emissões atmosféricas (BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P, 2001).

O ar atmosférico notavelmente é um dos elementos de nosso planeta mais agredido pela poluição ambiental dos últimos séculos, sendo que a poluição atmosférica não recebeu as devidas atenções pelo provável fato, de em teoria, ser abundante, inodora e invisível (BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P, 2001).

A poluição do ar consiste na presença ou lançamento no ambiente atmosférico de substâncias em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem-estar do homem (NEFUSI, 1976).

2.2 Classificação de poluentes atmosféricos

A classificação dos poluentes atmosféricos, é a divisão quanto a sua origem, isto é, quando são primários, representam os poluentes que são lançados à atmosfera diretamente pelas fontes de emissão. Já os poluentes de origem secundária, referem-se aqueles que são gerados através de reações entre os poluentes primários e compostos naturalmente presentes na composição da atmosfera (FIGUEIREDO, 2016).

Fazem parte do grupo dos poluentes primários: dióxido de enxofre (SO_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S), óxidos de nitrogênio (NO_x), amônia (NH_3), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e material particulado (MP).

Fazem parte do grupo de poluentes secundários o ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3), Ozônio (O_3), PBN (Peroxibenzolnitrato), PAN(Peroxiacetilnitrato) e trióxido de enxofre (SO_3) (LISBOA, 2010).

Para melhor interpretação dos poluentes atmosféricos, estes são classificados quanto as suas propriedades físicas, entre eles, gases, vapores e material particulado. E ainda assim, pode-se classificar os MPs quanto suas propriedades químicas em poluentes orgânicos e inorgânicos.

A Tabela 2 apresenta a classificação dos poluentes atmosféricos quanto sua origem, estado físico e propriedades químicas.

Tabela 2: Classificação dos poluentes atmosféricos.

Tipo de Poluente	Exemplos
Material Particulado	Poeiras, fumos, fumaças e névoas
Gases e Vapores	CO, CO ₂ , SO ₂ , O ₃ , NO _x , HC, NH ₃ , Cloro e H ₂ S
Poluentes Primários	CO, SO ₂ , Cloro, NH ₃ , H ₂ S, CH ₄
Poluentes Secundários	O ₃ , Aldeídos, Sulfatos Ácidos e Nitratos Orgânicos
Poluentes Orgânicos	HC, Aldeídos, Partículas Orgânicas Ácidos e Nitratos Orgânicos
Poluentes Inorgânicos	CO, CO ₂ , Cloro, NO ₂ , Poeira Mineral, Névoa Ácida e Alcalinas
Compostos de Enxofre	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S e Sulfatos
Compostos de Nitrogênio	NO, NO ₂ , HNO ₃ , NH ₃ e Nitrato
Carbonos Orgânicos	HC, Aldeídos, Álcoois
Compostos Halogenados	HCl, HF, CFC, Cloretos e fluoretos
Óxidos de Carbono	CO, CO ₂

Fonte: (FIGUEIREDO, 2010).

2.2.1 Material particulado

Os materiais particulados são uma variedade de partículas e gotas (aerossóis) pequenas, e leves o suficiente para permanecerem suspensas na atmosfera. São substâncias constituídas de poeiras, fumaças ou qualquer outro material nos estados sólido e líquido que se mantenham suspensos no ar, em função do seu tamanho (GOMES, 2016).

As usinas integradas de produção de aço, devido a inúmeros processos como: moagem, britagem e abrasão, processos químicos como: sublimação de sólidos e condensação de gases, combustão e fundição, são grandes geradoras de emissões de material particulado. Levando em conta toda a cadeia de produção, obtém-se características distintas do material particulado para cada fase do processo produtivo (BITENCOURT, 2020).

Devido a variabilidade de características existentes para MP, a classificação mais utilizada para sua distinção, aborda principalmente a periculosidade a exposição que determinado tipo de MP oferece a saúde humana. Para isto utiliza-se as seguintes classificações (OLIVEIRA, 2014):

2.2.1.1 Classificação do material particulado por formato

A diferenciação quanto a forma de dispersão do MP é associada às características físicas e químicas do material. Observa-se que, quando o MP é associado a forma de poeiras e fuligem é predominante o estado sólido da matéria de suas partículas, enquanto as névoas e neblinas são predominantemente formadas por partículas em estado líquido (OLIVEIRA, 2014).

Observa-se os seguintes formatos de dispersão de MP:

- Poeiras: As poeiras representam um espectro de tamanho de diâmetro de partícula em torno de 1 a 500 μ m e são formados tipicamente por processos de ruptura mecânica de sólidos (OLIVEIRA, 2014).
- Fumos: Os fumos são caracterizados pela sua capacidade de carregar consigo compostos metálicos como chumbo, cádmio, ferro e outros elementos metálicos tóxicos que intensificam sua periculosidade. São formados tipicamente pela condensação de vapores de substâncias sólidas. Seu diâmetro de partícula é em torno de 0,002 a 1 μ m (OLIVEIRA, 2014).
- Neblina: A neblina é incorporada ao meio da faixa de diâmetro da poeira e fumos, classificando-se entre 0,1 a 250 μ m. São compostas por substâncias em estado líquido que foram dispersas livremente ou por processos de condensação na atmosfera (OLIVEIRA, 2014).

2.2.1.2 Classificação do material particulado por tamanho

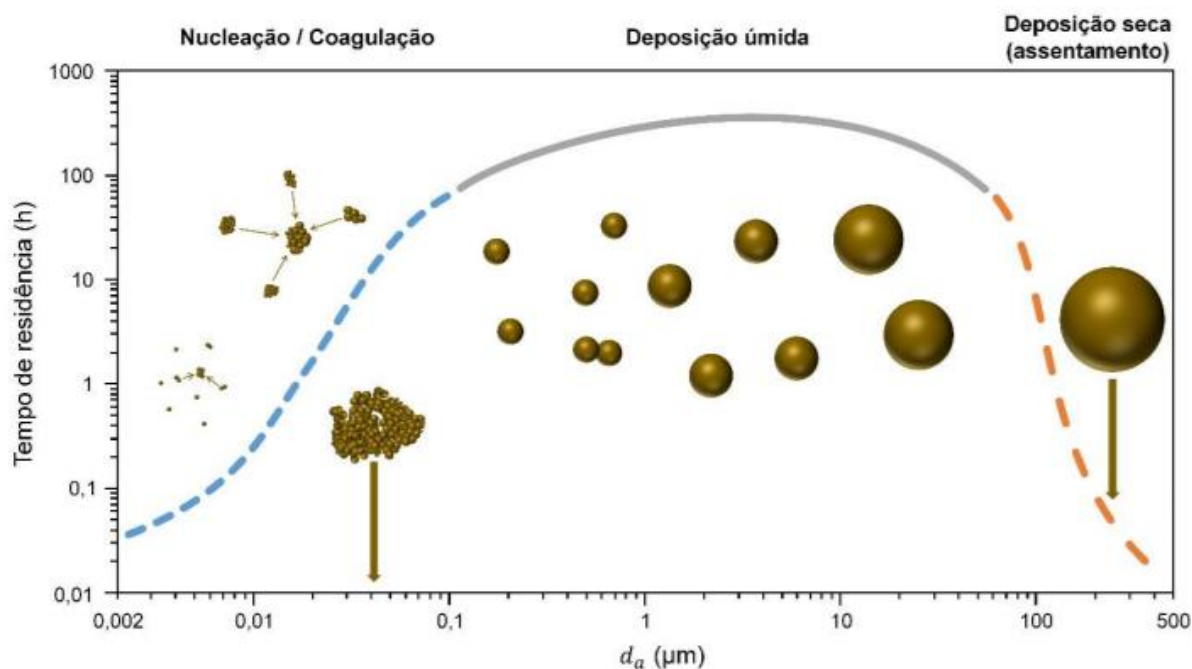
A classificação mais importante empregada para o MP (material particulado) diz respeito ao tamanho do diâmetro ou a granulometria de suas partículas. Esta classificação permite diferenciar tipos de MP em relação a periculosidade envolvida na sua exposição (BRITO, 2018).

O tamanho das partículas do MP correlaciona-se diretamente com a capacidade de tempo que essas partículas permanecerão em movimento livre na atmosfera. As partículas que possuem maior diâmetro, ficarão suscetíveis a maior atuação da força da gravidade que provocará dessa maneira o decaimento dessas partículas, denomina-se este fenômeno de deposição seca. As partículas de menor tamanho de diâmetro sofrerão processos semelhantes de decaimento, onde nestas atuará principalmente o fenômeno de coagulação em que as partículas se juntarão formando agregados de maior diâmetro (BRITO, 2018).

Face ao exposto, partículas maiores sofrem a constante ação do fenômeno de deposição seca e partículas menores o fenômeno da coagulação. Diante disso, uma faixa de diâmetro de partículas é capaz de representar a maioria das partículas livres dispersas na atmosfera (BRITO, 2018).

A Figura 1 representa a faixa de diâmetro de MP em relação a capacidade de tempo de permanência dessas partículas em dispersão no ar atmosférico. Observa-se também que a linha tracejada a direita, representa os fenômenos de decaimento por gravidade ou deposição seca, a linha tracejada a esquerda, representa os fenômenos de coagulação e agregação das partículas menores. Logo, observa-se que é formada uma faixa de diâmetro em que as partículas têm maior capacidade de permanência na atmosfera (BRITO, 2018).

Figura 1: Tempo de residência e formas de remoção de partículas na atmosfera.



Fonte: (BRITO, 2018).

Levando em conta a ação desses fenômenos sobre o MP de maior e menor diâmetro, torna-se operacional a utilização da faixa de diâmetro de MP de maior tempo de permanência na atmosfera para os estudos que versam sobre a qualidade do ar.

A classificação operacional útil, que abrange o MP de maior diâmetro é utilizada para faixas de diâmetro de até $50\mu\text{m}$, sendo essa denominada, Partículas Totais em Suspensão (PTS) e são consideradas as partículas grossas dispersas na atmosfera. Observa-se a seguir outras faixas de diâmetro de partícula e sua classificação na Tabela 3.

Tabela 3: Nomenclatura e faixas de diâmetro de material particulado.

Nomenclatura	Faixa de Diâmetro
PTS	$50\mu\text{m}$
MP ₁₀	$10\mu\text{m}$
MP _{2,5}	$2,5\mu\text{m}$
MP ₁	$1\mu\text{m}$
MP _{0,1}	$0,1\mu\text{m}$

Fonte: (OLIVEIRA, 2014).

Os materiais particulados são classificados a partir do tamanho de suas partículas, como demonstra-se a seguir (OLIVEIRA, 2014):

PTS (PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO): São as partículas com diâmetro até 50 μm . Estas partículas são inaláveis, porém são retidas antes de alcançar por completo o sistema respiratório.

MP₁₀ (PARTÍCULAS ATÉ 10 μm .): Representam o início da fração inalável do MP, onde estas são capazes de atingir o sistema respiratório.

MP_{2,5} (PARTÍCULAS ATÉ 2,5 μm): São denominadas a fração fina do MP, onde estas são capazes de atingir o sistema respiratório de forma mais profunda, tendo capacidade de alcançar os alvéolos pulmonares além de longa capacidade de permanência livre na atmosfera.

MP₁(PARTÍCULAS ATÉ 1 μm): Faixa de MP de periculosidade mais elevada que a categoria PM_{2,5} em decorrência da maior facilidade de penetração direta aos alvéolos pulmonares.

MP_{0,1}(PARTÍCULAS ATÉ 0,1 μm): Representa a forma de MP com maior impacto a saúde humana, estas partículas não precisam ser necessariamente inaladas através do sistema respiratório, pois podem ser facilmente absorvidas pelos poros da pele e alcançar o sistema circulatório.

2.2.2 Óxidos de nitrogênio

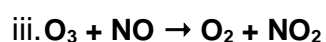
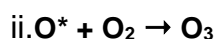
Como referenciado no tópico 2.2, os óxidos de nitrogênio classificam-se como poluentes primários, por serem lançados diretamente na atmosfera por processos de combustão (FILHO, 2016).

Incorporam-se nos óxidos de nitrogênio (NO_x), o óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e outros óxidos de nitrogênio que são agrupados e classificados como NO_x. O NO_x lançado na atmosfera, participa ainda na contribuição de formação dos poluentes secundários, onde intensificam a formação dos chamados, oxidantes fotoquímicos entre eles: Ozônio (O₃), Peróxidos e Formaldeídos (FILHO, 2016).

Para formação dos oxidantes fotoquímicos, são necessárias determinadas condições meteorológicas que propiciem a formação destes compostos, a principal

delas é a incidência de raios ultravioletas que está ligado principalmente a sazonalidade, latitude média, intensidade de radiação solar, temperatura e umidade, onde cada parâmetro, provoca alteração na capacidade de fotólise destes compostos (CARVALHO, 2006).

De forma geral pode-se representar a formação do ozônio troposférico ligado as emissões de NO_x pelas seguintes etapas de reações (CARVALHO, 2006).



2.2.3 Dióxido de enxofre

O dióxido de enxofre (SO₂) é um gás incolor e de forte odor irritante, classifica-se como poluente primário, é resultado da combustão de combustíveis fósseis que contenham enxofre em sua composição. A reação de oxidação do SO₂ lançado na atmosfera é capaz de produzir o Ácido Sulfúrico (H₂SO₄), onde este em contato com a umidade atmosférica e sua alta solubilidade em água, faz do SO₂ o principal causador das chuvas acidas (OLIVEIRA, 2014).

A capacidade de permanência na atmosfera por longos períodos, faz com que as emissões de SO₂, sejam transportadas para regiões a quilômetros de distâncias das fontes originárias, provocando danos, a longas distâncias, intensificando assim a área de abrangência dos impactos de suas emissões.

A chuva ácida provocada por estas emissões causam externalidades negativas em atividades econômicas como, danos por corrosão em máquinas, equipamentos e estruturas, atividades pesqueiras onde provocam alterações nos parâmetros de pH da água de lagos e rios, e danos a agricultura (OLIVEIRA, 2014).

2.2.4 Monóxido de carbono

O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro e asfixiante, sendo altamente tóxico. É produzido principalmente por combustíveis fósseis de cadeia carbônica, em combustão incompleta onde há deficiência de oxigênio para continuidade da reação de síntese do dióxido de carbono (CO₂) (GRAND STRAND REGIONAL MEDICAL CENTER, 2018).

Na reação a seguir pode-se observar a combustão de Gás Natural (metano – CH₄) em condições suficientes e deficientes de oxigênio assim como seus produtos.

- i. **Combustão Completa:** $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{calor}$
- ii. **Combustão Incompleta:** $\text{CH}_4 + 3/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{HPA} + \text{C}$

A toxicidade da exposição ao CO, está ligado a afinidade deste gás com as hemoglobinas das hemácias do sangue (Hb). Esta afinidade é de aproximadamente 200 a 250 vezes maior do que a afinidade do gás oxigênio (O₂). O monóxido de carbono inalado é então absorvido pela hemoglobina do sangue que possui como principal função o transporte de gás oxigênio (O₂), formando então a carboxihemoglobina (COHb), que neste efeito, irá saturar as hemoglobinas do sangue e diminuir a sua capacidade de transportar O₂ (BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P, 2001).

2.3 Processo siderúrgico

Entende-se como Aço, uma liga de ferro e carbono com percentuais inferiores a 2% e quantidades de outros elementos como, silício, manganês, fósforo e enxofre inferiores a 1% presente em sua composição geral. O processo siderúrgico de fabricação do aço, permite através de equipamentos de refino, retirar e corrigir impurezas, permitindo ao produto, características e propriedades físico-químicas que proporcionam maior resistência ao desgaste, impacto, ductilidade, resistência à corrosão e diversas outras características que são objetivos a serem seguidos por cada processo de produção para obter o aço final com as características desejadas (CALDAS, 2011).

Os principais insumos para a fabricação do aço, são eles, os óxidos de ferro, conhecidos como os minérios de ferro, o carvão seja vegetal ou mineral, sucata metálica e a energia elétrica.

As plantas industriais de produção de aço, são classificadas conforme o processo produtivo individual de cada uma, sendo as principais classificações e características (COSTA *et al.*, 2007):

- **Usinas Integradas:** Estas são as plantas siderúrgicas em que ocorrem as três fases de produção do aço, redução, refino e laminação. Nestas usinas é possível obter produtos acabados e semiacabados diretamente pelas matérias primas básicas. Para isso, diversos equipamentos e processos metalúrgicos são empregados, sendo os principais deles, coquearias, altos-fornos, aciaria e laminadores. Nestas usinas o principal combustível para operação dos altos-fornos, é o carvão mineral, que depois do processo de coqueificação nas coquearias, se transforma em coque metalúrgico, que então é empregado como o principal combustível de alimentação dos altos-fornos. Nestas usinas prevalece o uso de fornos de refino a oxigênio (BOF) onde este é o principal responsável pelo refino da carga de ferro-gusa vinda dos altos-fornos (COSTA *et al.*, 2007).
- **Usinas semi-integradas:** Nestas usinas o processo de produção de aço é realizado por meio de duas etapas, refino e laminação, onde destaca-se como matérias primas, a sucata metálica e energia elétrica. Nesta usina o principal equipamento operado na aciaria para o refino da carga, são os fornos elétricos (EAF) (COSTA *et al.*, 2007).

2.3.1 Usinas integradas

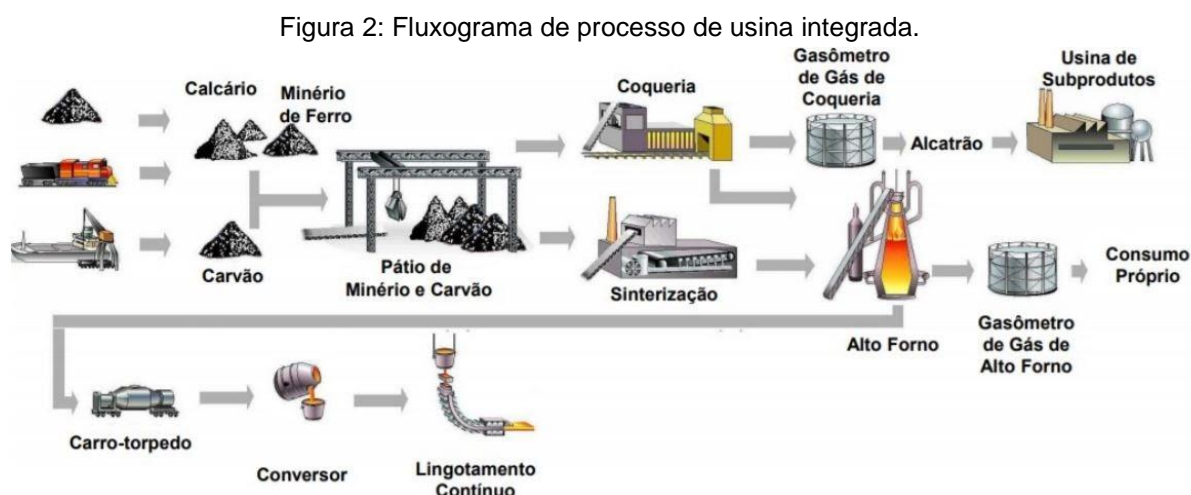
As usinas integradas operadas por altos-fornos a carvão mineral e aciarias com fornos a oxigênio (BOF), representam a maior parcela no cenário brasileiro de produção de aço (COSTA *et al.*, 2007). A Usina Presidente Vargas, operada pela Companhia Siderúrgica Nacional em Volta Redonda é uma delas que se enquadra neste modelo de processo.

Nesta modalidade os altos-fornos atuam como o reator metalúrgico responsável pela redução dos minérios de ferro, utilizando como principal combustível o coque metalúrgico, produto obtido através do carvão mineral nas coquearias, este equipamento é o responsável pela produção de ferro-gusa e seu subproduto, a escória de alto-forno.

O ferro-gusa, produzido no alto-forno é então transportado até as instalações da aciaria onde é carregado nos fornos a oxigênio (BOF) para então ser refinado, tornando-se posteriormente em aço líquido.

Após o processo de refino na aciaria, o aço líquido é lingotado através dos processos de lingotamento contínuo e então transformado em placas ou tarugos de aço, no primeiro caso, serão vendidos como produtos semiacabados, no segundo, passarão posteriormente ao processo de laminação para então transformação e comercialização de produtos acabados (COSTA *et al.*, 2007).

A Figura 2 demonstra o fluxograma com as principais etapas e processos de uma usina siderúrgica integrada:



Fonte: (SCHEID, 2007).

2.3.2 Coquearia e suas emissões

As matérias-primas para obtenção do ferro-gusa no alto-forno, passa por diversas etapas para sua preparação onde essas, melhoram o rendimento de operação do alto-forno. O coque metalúrgico é o principal insumo combustível para operação do alto-forno, o material é constituído em sua maior parcela por carbono

este sendo elemento fundamental para geração de calor e participação na reação de redução da carga metálica (COSTA, 2008).

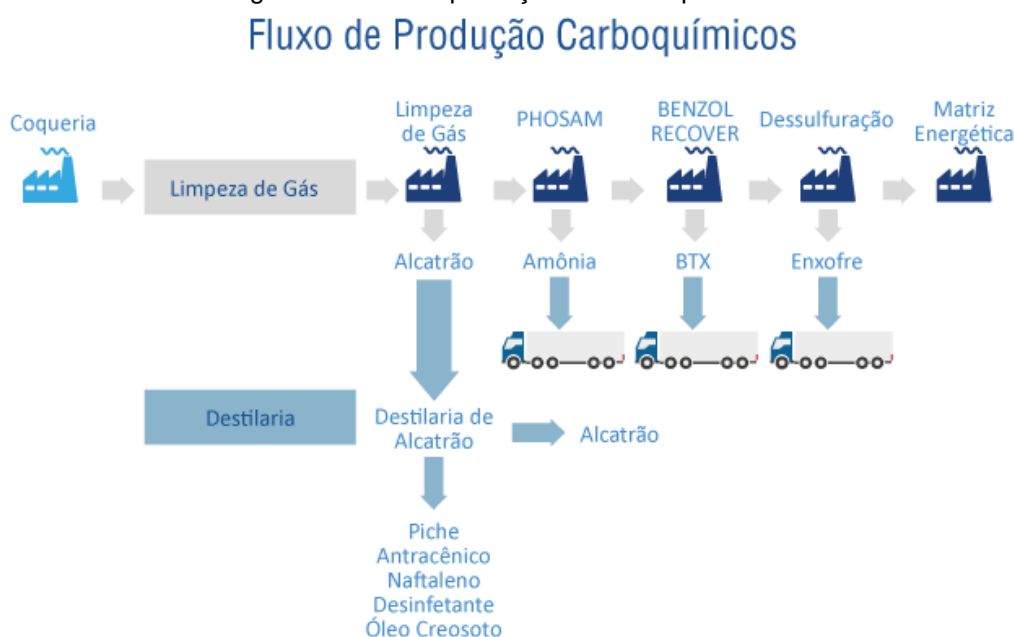
Para obtenção do coque metalúrgico é necessário a seleção do tipo de carvão empregado, em sua grande maioria em operação nos altos-fornos, o carvão de origem mineral, este, extraído a partir de minas de carvão fóssil (CGEE,2010).

A obtenção do coque metalúrgico, consiste no carregamento do carvão mineral em fornos unitários onde o material carregado será selado na ausência de oxigênio e aquecido a temperaturas em torno de 1.100°C, onde ocorrerá então a destilação por pirólise do carvão mineral resultando nos produtos voláteis do carvão e no coque metalúrgico (OLIVEIRA, 2014).

Os produtos voláteis ou em forma de gás resultantes da destilação do carvão são enviados em forma de gás para serem recuperados e fracionados na usina de coprodutos carboquímicos, onde em parcela são aproveitados os derivados, alcatrão, amônia anidra, BTX e enxofre. O alcatrão passa por uma segunda etapa de destilação onde resulta em produtos como o piche, antraceno, naftaleno, desinfetante e óleo creosoto (COMPANHIA SIDERURGICA NACIONAL, 2021).

A Figura 3 demonstra o fluxograma do processo de reaproveitamento do gás de coqueria (GAC) na Usina Presidente Vargas da CSN.

Figura 3: Fluxo de produção de carboquímicos.



Fonte: (COMPANHIA SIDERURGICA NACIONAL, 2021).

As emissões atmosféricas observadas na etapa de coqueria estão elencadas na Tabela 4 onde foram separadas conforme cada etapa geradora de emissões que constituem o processo completo da coqueria.

Tabela 4: Emissões atmosféricas da coqueria.

Fonte	Tipos de emissões:
Estocagem do carvão	MP
Câmara de combustão	SO ₂ , NO _x , MP
Enfornamento	MP
Tubulação de exaustão de gases	MP
Desenfornamento	MP
Apagamento do coque	MP
Estocagem final	MP

Fonte: (OLIVEIRA, 2014).

2.3.3 Sinterização e suas emissões

O fornecimento dos minérios de ferro para produção de ferro-gusa nos altos-fornos, passará antes pelo processo de sinterização de modo a preparar a carga para proporcionar maior rendimento aos altos-fornos. Por via geral, as usinas integradas utilizam o processo de sinterização para preparação da carga metálica para suprimento de matéria prima nos altos-fornos, que se caracteriza por adicionar a carga de minério de ferro, finos de coque e fundentes (calcário e dolomita) e submetê-los a temperaturas em torno de 1.200°C a 1.400°C com o objetivo de agregar as partículas do material, obtendo assim as propriedades específicas de, granulometria, porosidade, composição química e resistência mecânica ideais para a operação nos altos-fornos (OLIVEIRA, 2014).

Os produtos resultantes do processo de sinterização são denominados de *sinter feed*, este que é atualmente a carga metálica mais utilizada nos altos-fornos em geral. As propriedades físicas do *sinter feed* proporcionam ao material elevada fragmentação e baixa resistência mecânica, que se caracteriza por possuir menor densidade em relação ao minério de ferro compacto, logo, o material não resiste bem ao manuseio e transporte intenso. Por esta razão, as plantas de processamento de

sinter feed localizam-se em geral dentro das próprias plantas integradas de produção de aço, que é o caso também, da planta de sinterização da Usina Presidente Vargas em Volta Redonda (CGEE, 2010).

As emissões atmosféricas observadas na etapa de sinterização estão elencadas na Tabela 5 onde foram separadas conforme cada etapa geradora de emissões que constituem o processo completo da sinterização.

Tabela 5: Emissões atmosféricas da sinterização.

Fonte	Tipos de emissões:
Captação e tratamento do material particulado e gases gerados na máquina de produção de sinter	MP, SO ₂ , NO _x
Captação e tratamento do material particulado gerado no processo de britagem, peneiramento e transferência	MP

Fonte: (OLIVEIRA, 2014).

2.3.4 Alto-forno e suas emissões

O alto-forno é o coração das usinas integradas, onde este, é o reator metalúrgico responsável pela redução da carga metálica para obtenção do ferro-gusa. O seu funcionamento é baseado na ascendência do gás redutor CO que é resultado da reação do ar soprado pelas ventaneiras em contato com o coque metalúrgico. Na região inferior do alto-forno, os gases em temperaturas superiores a 2.000°C fundem a carga metálica e a escória. Esse gás redutor em contato com as fontes de ferro promove a redução dos óxidos de ferro (SPENCE; PRITCHARD, 1997).

O *sinter feed* é a principal fonte de óxidos de ferro que se obtém o ferro-gusa. O coque é o combustível e agente redutor para o processo de redução dos óxidos de ferro. Para operação do alto-forno, inicialmente é realizado o carregamento das matérias primas, onde em grande maioria, são utilizadas correias transportadoras que alcançam o topo do alto-forno, que são então abastecidos pelos sistemas de cone e calhas giratórias localizadas no topo do reator (OLIVEIRA, 2014).

O ar soprado para o alto-forno através das ventaneiras na região inferior do reator, é pré-aquecido nos regeneradores de calor onde recebem auxílio de gases de

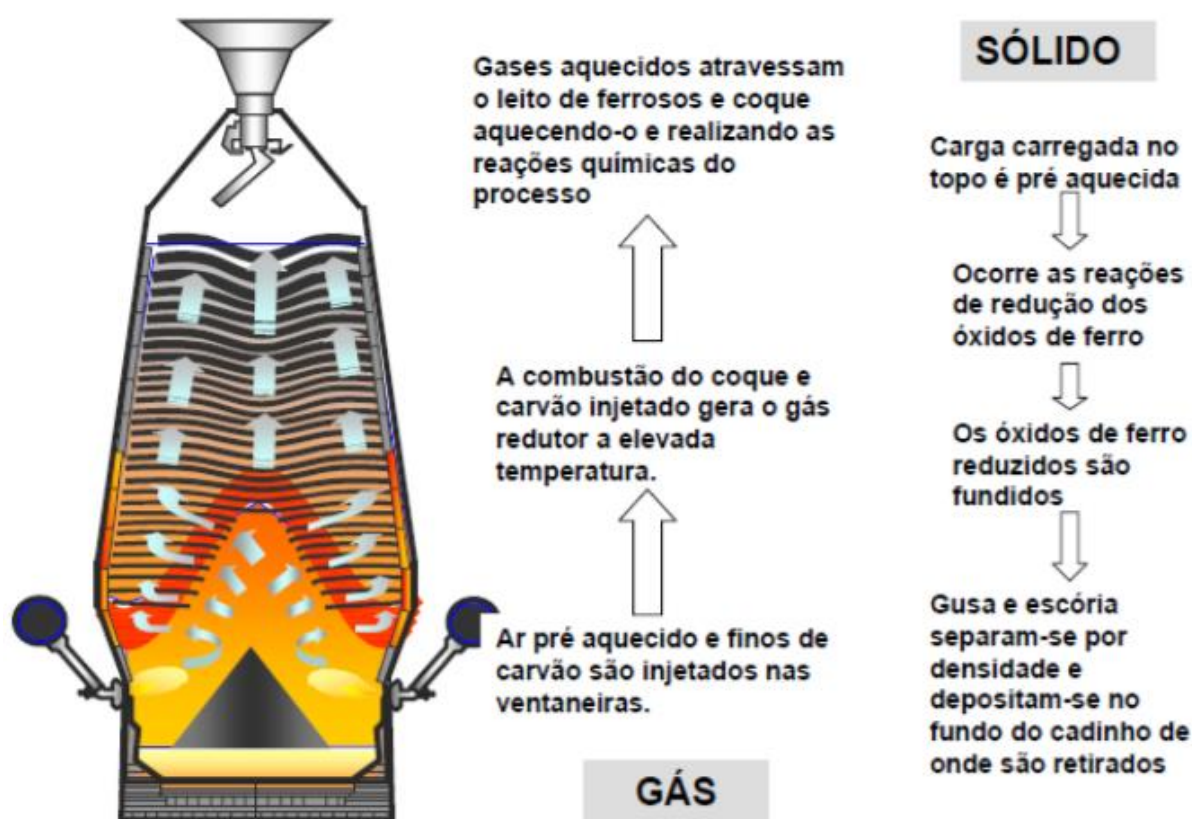
coqueria e do próprio alto-forno, as ventaneiras ainda realizam a injeção de carvão pulverizado para dentro do reator, auxiliando na produção dos gases redutores.

Após a injeção do ar aquecido e este em contato com o carvão pulverizado e o coque, inicia-se a geração do gás redutor que segue o fluxo ascendente até o topo do forno, onde em contato com a carga metálica que segue o fluxo descendente, inicia-se a redução da carga metálica através dos fluxos de contracorrente e produção constante de ferro-gusa e escória na região denominada cadinho (GASPARINI, 2016).

A

Figura 4 a seguir representa o fluxo de contracorrente típico de um alto-forno

Figura 4: Fluxo de contracorrente de alto-forno.



Fonte: (ARAUJO, 1997).

Em seguida entra em ação a sala de corrida, onde através dos furos de gusa, ocorre o vazamento dos produtos ferro-gusa e escória, além de ter a finalidade de manter o reator continuamente em operação. A separação dos produtos ferro-gusa e escória é realizada pela diferença de densidade dos materiais, que devido a esta diferença os materiais seguem canais diferentes onde são finalmente destinados. A escória seguirá no canal refratário de escória até os granuladores e o ferro-gusa aos

canais refratários até os carros torpedos para posterior processo de refino na aciaria (OLIVEIRA, 2014).

As emissões atmosféricas relacionadas diretamente à operação de um alto-forno estão diretamente associadas à armazenagem e carregamento das matérias primas e ao posterior vazamento do ferro-gusa na sala de corrida e transporte pelos carros torpedos. De mesmo modo, observada a complexidade da produção de gases e as linhas de tubulações das quais são transportados, são notadas emissões fugitivas durante esses processos (OLIVEIRA, 2014).

As emissões atmosféricas observadas na etapa do alto-forno estão elencadas na Tabela 6 onde foram separadas conforme cada etapa geradora de emissões que constituem o processo completo do alto-forno.

Tabela 6: Emissões atmosféricas de alto-forno.

Fonte	Tipos de emissões:
Estocagem de matéria prima	MP
Produção de Gusa	CO ₂ , MP
Ventaneiras	NO _x
Estocagem em carro torpedo	MP, SO _x

Fonte: (OLIVEIRA, 2014).

2.3.5 Aciaria e suas emissões

A aciaria é uma das principais etapas do processo da siderurgia, nesse com o auxílio de máquinas e equipamentos específicos, acontece a conversão de ferro-gusa em diferentes tipos de aço. Hoje no Brasil e no mundo a conversão de ferro-gusa em aço se dá de duas principais formas, através de conversores de oxigênio (aciaria LD/BOF) e pela fusão, feita em fornos elétricos a arco, de uma carga sólida a base de sucata (aciaria EAF).

O processo de produção do aço em forno elétrico (EAF) consiste na fusão de sucata de aço e de ferro primário (gusa ou ferro-esponja) a partir do calor gerado por um arco elétrico formado entre eletrodos de grafita ou entre os eletrodos e a carga metálica. Depois da fusão da carga, injeta-se oxigênio por meio de uma lança, a fim de promover a reação de oxidação de carbono, silício e fósforo, visando à redução desses elementos (OLIVEIRA, 2014).

O processo envolvendo os conversores de oxigênio (BOF) sendo esse o utilizado na planta de Aciaria da UPV, funciona conforme descrição a seguir.

Primeiramente o conversor é inclinado e carregado com sucata sólida e levado à posição vertical para a introdução da carga, após isso novamente é inclinado e então é feito o carregamento do ferro-gusa líquido. Depois de carregado o conversor é colocado na posição vertical, uma lança é então introduzida injetando oxigênio a uma alta velocidade. Com a fusão completa, faz-se o carregamento com cal, fundentes e outras ligas metálicas a fim de conferir características específicas ao aço desejado.

Depois que acontece o sopro de oxigênio, que tem duração média de 20 minutos, o conversor é estendido na posição horizontal para a coleta de amostras que serão usadas em análises. Com o término do processo, a escória permanece sobrenadante ao aço, visto que os materiais apresentam densidades diferentes. O aço então é vazado pelo bico do conversor em uma panela e a escória ao um pote onde será resfriada lentamente (OLIVEIRA, 2014).

As emissões atmosféricas relacionadas ao processo decorrem a partir do carregamento da carga metálica no conversor e a injeção de oxigênio no qual inicia-se o processo de refino e transformação do ferro-gusa em aço. Os tipos de emissões relacionadas às etapas geradoras na planta de Aciaria são relacionados na Tabela 7.

Tabela 7: Emissões atmosféricas da aciaria.

Fonte	Tipos de emissões:
Carregamento e descarregamento do conversor	MP
Processo de oxidação das impurezas do ferro-gusa	MP, CO, CO ₂ , N ₂ ,

Fonte: (OLIVEIRA, 2014).

2.4 Produção de aço no Brasil em 2019

O Brasil no ano de 2019 ocupou a 9ª posição no *ranking* de países em produção de aço bruto no mundo, registrando impressionantes 32,6 milhões de toneladas de aço produzidas. Nesta parcela conforme é possível notar na Tabela 8, o Estado do Rio de Janeiro ocupa a 2ª posição no *ranking* nacional de produtores de aço, representando 26,9% da produção nacional de aço bruto (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

Tabela 8: Produção brasileira de aço bruto em 2019 por estados.

Estado	Produção em 10³ ton	Participação (%)
Minas Gerais	10.408	32,0
Rio de Janeiro	8.750	26,9
Espírito Santo	6.599	20,3
Ceará	2.977	9,1
São Paulo	2.265	6,9
Rio Grande do Sul	671	2,1
Pará	345	1,1
Maranhão	338	1,0
Pernambuco	216	0,6

Fonte: (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

As empresas produtoras de aço no Brasil formam um grupo de 15. Na Tabela 9 é possível verificar cada uma destas empresas assim como suas respectivas produções de aço bruto registradas no ano de 2019.

Tabela 9: Empresas produtoras de aço no Brasil e suas produções em 2019.

Empresa	Produção em 10 ³ ton
	2019
Aço Verde do Brasil	338
Aperam	688
ArcelorMittal Aços Longos	2.870
ArcelorMittal Sul Fluminense	720
ArcelorMittal Tubarão	6.268
CSN	3.043
CSP	2.866
Gerdau	6.301
Simec	671
Sinobras	345
Ternium Brasil	4.379
Usiminas	3.264
Vallourec	705
Villares Metals	111
VSB	-

Fonte: (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), operadora da Usina Presidente Vargas no Município de Volta Redonda, foi responsável pela produção de 34,7% da produção de aço bruto total do Estado do Rio de Janeiro, registrando uma produção de 3,04 milhões de toneladas de aço bruto produzidos durante o ano de 2019 (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

2.5 A reforma do alto-forno 3 da Companhia Siderúrgica Nacional

Conforme abordado no item 2.3.4 deste trabalho, o alto-forno é o principal equipamento de produção de uma usina siderúrgica, responsável pela redução do minério de ferro em ferro-gusa. A Usina Presidente Vargas da CSN em Volta Redonda realiza sua produção de aço a partir de dois altos-fornos em sua planta integrada. Estes são os altos-fornos número 1, 2 e 3. O Alto-forno de número 1, o primeiro a ser operado pela empresa, já se encontra desativado atualmente. Os altos-fornos 2 e 3 são responsáveis pela produção de todo o ferro-gusa utilizado para produção de aço na Usina Presidente Vargas.

A vida útil de um alto-forno é subdividida de acordo com campanhas de reformas que são realizadas com o intuito de substituir equipamentos essenciais para o

funcionamento do alto-forno e que com o decorrer do tempo vão apresentando seus limites de vida útil. As campanhas de reforma abrangem obras mecânicas, eletromecânicas e civis de grande porte, envolvendo nestas atividades diversas máquinas e equipamentos, assim como muitos operários para realização das inúmeras atividades de manutenção e reparo (XAVIER FILHO, 2010).

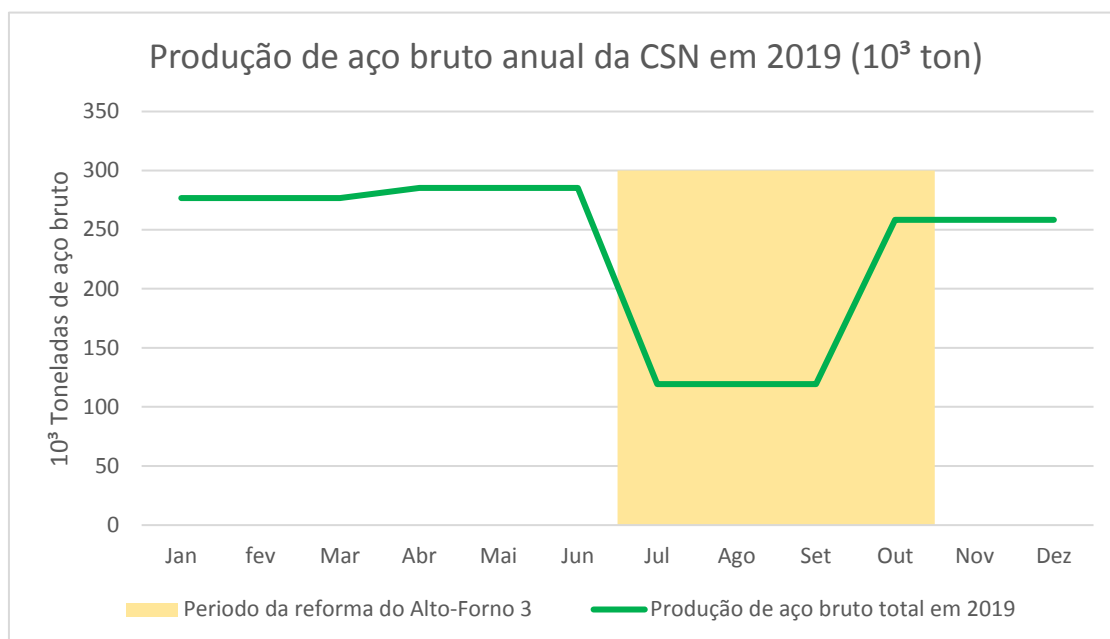
O Alto-Forno n. 3 é o maior e mais moderno operado na UPV, responsável pela maior parcela da produção de aço bruto. Inaugurado em 1976 este equipamento encontra-se em operação por 45 anos, sendo responsável por cerca de 9,4 mil toneladas diárias de ferro-gusa representando 67% de toda a produção de ferro-gusa da Usina Presidente Vargas. A reforma no Alto-Forno n. 3 anterior a reforma realizada no ano de 2019, aconteceu no ano de 2001, ano em que foram investidos segundo fontes jornalísticas da época, cerca de 150 milhões de dólares e contou em seu auge com cerca de 3 mil operários para realização de todas as atividades durante os 93 dias de atividades programadas (PAULO, 2001).

A última reforma do Alto-Forno n. 3 realizada no ano de 2019 aconteceu nos dias 28 de junho e foi finalizada no dia 28 de outubro daquele ano. Foram investidos segundo fontes jornalísticas daquele ano, 250 milhões de dólares e foram gerados 4.500 empregos temporários necessários para realização das diversas atividades de manutenção requeridas pela reforma. Esta reforma coincidiu com a vida útil programada de 20 anos desde a última reforma do ano de 2001. Onde 18 anos após a última reforma e 2 anos antes do final de vida útil programada do alto-forno, a CSN realizou então a sua reforma, que garantiu ao equipamento o prolongamento de suas atividades (VALE, 2019).

Durante o período de paralisação do Alto-Forno n. 3 da Usina Presidente Vargas, foi observado conforme ilustra a Figura 5, uma expressiva redução na produção siderúrgica da UPV, onde neste período, somente o Alto-Forno n. 2 realizou a produção de ferro-gusa para a usina.

A produção registrada no 3º trimestre do ano de 2019, período em que foi realizado a reforma do Alto-Forno n. 3, foi acompanhado de uma redução da produção de aço bruto que chegou a encolher impressionantes 58,24%.

Figura 5: Produção de aço bruto anual da CSN em 2019.



Fonte: (COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL, 2020).

Tomando como referencial o período em que o Alto-Forno n. 3 da Usina Presidente Vargas ficou paralisado para sua reforma e a redução notada na produção de aço bruto total da usina, este trabalhou buscou analisar o impacto gerado na qualidade do ar pela paralisação deste equipamento. Na Figura 6 observa-se a fotografia que exhibe o Alto-Forno n. 3 da UPV.

Figura 6: Alto-Forno número 3 da UPV.



Fonte: (JORNAL A VOZ DA CIDADE, 2019)

2.6 A frota de veículos de Volta Redonda

A expressiva frota de veículos do município de Volta Redonda representa uma importante fonte de emissões de poluentes atmosférico, tornando necessária a análise do cenário que se encontra atualmente o município frente a quantidade de veículos que transitam por suas vias.

A importância de verificar isto decorre de as fontes veiculares terem acentuado sua participação nas emissões atmosféricas nos últimos anos com o aumento das frotas de veículos e os congestionamentos de grande extensão observados tipicamente nas cidades de grande porte (TEIXEIRA; FELTES; SANTANA, 2008).

Além disso a variedade de poluentes observados nas emissões oriundas dos veículos automotores carrega consigo diversas externalidades negativas. As emissões possuem compostos como óxidos de carbono (CO e CO₂), NO_x, SO₂ e MP₁₀ (TEIXEIRA; FELTES; SANTANA, 2008).

Segundo a CETESB, os problemas de qualidade do ar das regiões metropolitanas do Estado de São Paulo decorrem principalmente dos poluentes provenientes dos veículos, no qual é enfatizado ainda a importância para a redução das emissões veiculares para melhorar na qualidade do ar, porém em Volta Redonda existe além da poluição devido aos veículos, a devido a indústria siderúrgica. (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020)

Em virtude ao exposto, para o êxito deste trabalho foi necessário estudar quantitativamente os números da frota de veículos do município de Volta Redonda, buscando dessa maneira aumentar a eficiência das análises que focam nas emissões industriais que se originam na Usina Presidente Vargas.

De posse dos dados coletados do sítio da internet do IBGE, foi observado que em 2018 Volta Redonda contava com uma frota de 137.147 mil veículos automotores. Esse valor representa a 9ª posição no ranking do Estado do Rio de Janeiro em número de frota de veículos por municípios, conforme é possível verificar na Tabela 10. Comparando entre os municípios de todo o Brasil, Volta Redonda ocupou em 2018 a posição de 118ª no ranking dos municípios em frota de veículos automotores como é possível verificar na

Tabela 11 (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020).

Tabela 10: Ranking de municípios do Estado do Rio de Janeiro em frota de veículos.

Ranking de municípios do Estado do Rio de Janeiro em frota de veículos.		
Posição	Cidade	Frota de Veículos
1º	Rio de Janeiro	2.827.516
2º	São Gonçalo	311.441
3º	Duque de Caxias	276.685
4º	Niterói	268.251
5º	Nova Iguaçu	255.280
7º	Petrópolis	161.741
8º	São João de Meriti	146.661
9º	Volta Redonda	137.147

Fonte: (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020).

Tabela 11: Ranking de municípios do Brasil em frota de veículos.

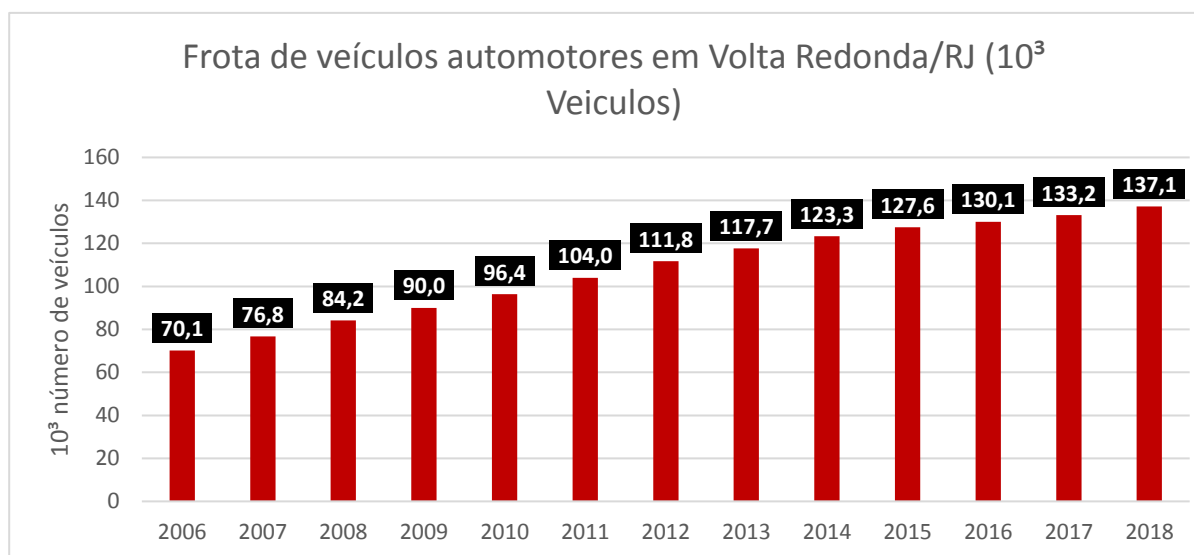
Ranking de municípios do Brasil em frota de veículos.		
Posição	Cidade	Frota de Veículos
1º	São Paulo	825.645
2º	Rio de Janeiro	2.827.516
3º	Belo Horizonte	2.075.823
4º	Brasília	1.812.473
5º	Curitiba	155.146
116º	Suzano	137.636
117º	Governador Valadares	137.171
118º	Volta Redonda	137.147

Fonte: (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020).

Cabe ainda ressaltar que verificando os dados históricos é possível notar que a frota de veículos de Volta Redonda cresceu 62% entre 2008 e 2018. Onde a série história de crescimento é possível ser verificada na Figura 7 a seguir. Portanto, verificando que a cidade de Volta Redonda apresenta uma expressiva frota de veículos automotores que circulam diariamente através do trânsito na cidade, é notória

a importância de se considerar a interferência das emissões veiculares na qualidade do ar do município.

Figura 7: Série histórica dos números da frota de veículos de Volta Redonda/RJ.



Fonte: (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020).

2.7 Monitoramento da qualidade do ar em Volta Redonda

O monitoramento da qualidade do ar do município de Volta Redonda é realizado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), órgão do governo do Estado do Rio de Janeiro. Volta Redonda é abarcada pela Região Médio Paraíba (RMP) do programa de gestão da qualidade do ar do INEA. A RMP abrange além de Volta Redonda os municípios de: Resende, Barra Mansa, Itatiaia, Quatis, Pinheiral, Barra do Pirai, Pirai, Valença, Rio das Flores, Porto Real e Rio Claro. Segundo o órgão nesta região os problemas relacionados a poluição do ar se devem, ao porte, ao tipo e à localização das atividades industriais implantadas na região, bem como à intensa circulação de veículos (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, 2018).

A qualidade do ar no município de Volta Redonda é realizada a partir de 3 estações de monitoramento automáticas e 7 estações semiautomáticas. A Tabela 12 ilustra as estações e os parâmetros que cada uma monitora na cidade de Volta Redonda.

Tabela 12: Estações de monitoramento da qualidade do ar de Volta Redonda.

Estação	Tipo	Parâmetros
Belmonte	Automática	PTS, MP ₁₀ , SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, HC, BTX, Temperatura, Umidade, Direção do Vento, Velocidade do Vento
Retiro	Automática	PTS, MP ₁₀ , SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, HC, BTX, Temperatura, Umidade, Direção do Vento, Velocidade do Vento
Santa Cecília	Automática	PTS, MP ₁₀ , SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, HC, BTX, Temperatura, Umidade, Direção do Vento, Velocidade do Vento
Águas Cruas	Automática	Temperatura, Umidade, Radiação Solar, Velocidade do Vento, Direção do Vento, Pressão Atmosférica, Precipitação
Volta Grande	Semiautomática	MP _{2,5} e PTS
Jardim Paraíba	Semiautomática	PTS
Aeroclube	Semiautomática	PTS e MP ₁₀
Conforto	Semiautomática	PTS e MP ₁₀
Limoeiro	Semiautomática	PTS e MP ₁₀
Centro	Semiautomática	PTS e MP ₁₀
Siderville	Semiautomática	PTS e MP ₁₀

Fonte: (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, 2018).

As estações de monitoramento da qualidade do ar semiautomáticas operam manualmente a partir de visitas técnicas semanais em que os técnicos responsáveis, realizam a aferição, programação e troca dos filtros amostrados. Posteriormente os filtros amostrados são pesados e a concentração do MP é calculada e os resultados inseridos no banco de dados do INEA. Estas estações realizam a amostragem durante 24h a cada 6 dias. Os filtros amostrados coletados pelos técnicos são analisados em laboratório onde podem eventualmente serem caracterizados quanto à composição química do MP.

A seguir na Figura 8 observa-se uma das estações de monitoramento da qualidade do ar semiautomática que opera no município de Volta Redonda.

Figura 8: Estação de monitoramento da qualidade do ar semiautomática



Fonte: (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, 2021).

Para concepção deste trabalho, foram utilizados os dados do monitoramento da qualidade do ar provenientes das estações automáticas Belmonte, Retiro e Santa Cecília. Na Figura 9 é possível verificar a localização de cada uma destas estações no município de Volta Redonda.

A preferência para utilização das estações automáticas deve-se ao fato de a rede automática de monitoramento do INEA medir continuamente os parâmetros meteorológicos e as concentrações de poluentes dispersos no ar. Todos os dados gerados são transmitidos em tempo real para a central de telemetria do INEA, que após serem processados e validados, são disponibilizados a população por meio de seu sítio na internet (SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE/RJ, 2020).

Figura 9: Localização das estações automáticas no município de Volta Redonda/RJ.



Fonte: (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, 2018).

2.8 Resolução CONAMA

A Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou em 2005 as diretrizes de qualidade do ar por meio do “*Air Quality Guidelines Global Update 2005*” que trata das revisões dos valores-guia dos poluentes atmosféricos. Considerando isto, o CONAMA pela resolução n. 491 de 19 de novembro de 2018 estabeleceu um novo regulamento sobre os padrões de qualidade do ar para o Brasil, revogando assim a resolução n. 3 de 1990. No anexo I desta resolução foram estabelecidos os padrões e valores-guia para cada poluente atmosférico tratado por esta resolução (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Na Tabela 13 a seguir, observa-se os padrões da qualidade do ar estabelecidos pela resolução CONAMA n. 491.

Tabela 13: Resolução CONAMA n. 491 de 19 de novembro de 2018

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		mg/m ³	m/m ³	mg/m ³	mg/m ³	ppm
Material Particulado - MP10	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP2.5	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ₅	Anual ¹	-	-	-	0,5	-
1 - média aritmética anual						
2 - média horária						
3 - máxima média móvel obtida no dia						
4 - média geométrica anual						
5 - medido nas partículas totais em suspensão						

Fonte: (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2018)

Comparando a resolução n. 3 de 1990 e a resolução n. 491 de 2018 observa-se que, em relação ao material particulado, foi inserido valores-guia para padrões de qualidade do ar de material particulado de diâmetro aerodinâmico de até 2,5µm (MP_{2,5}). De mesmo modo, foi inserido valores-guia para chumbo no material particulado onde este no Art 3º § 1º fica determinado a ser monitorado em áreas específicas em função da tipologia das fontes de emissões atmosféricas e a critério do órgão ambiental competente.

Além da inserção de novos poluentes abordados pela resolução n. 491 de 2018 em relação a resolução n. 3 de 1990, notou-se uma redução nos limites de tolerância em todos os valores abordados pela resolução n. 3 de 1990 exceto para os padrões secundários anuais de NO₂, onde na resolução de 1990, tinha-se como valor-guia 190µg/m³ e na resolução de 2018, o valor-guia de 240µg/m³ resultando em um aumento percentual de 26%, a maior redução percentual foi observada para os valores-guia de

SO₂ resultando em uma redução percentual de 65% (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Para o estudo deste trabalho, a resolução CONAMA n. 491 de 2018 não é aplicável na verificação de conformidade das concentrações dos poluentes atmosféricos monitorados pelas estações de monitoramento da qualidade do ar de Volta Redonda, isso se deve ao fato de a estratégia utilizada neste trabalho, fazer uso somente de uma parcela horaria específica dos dados diários deste monitoramento, em que este fato será tratado mais detalhadamente nos itens a seguir.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Metodologia

Para concepção deste trabalho, foram realizadas pesquisas para entendimento do contexto histórico de criação da cidade de Volta Redonda e da Companhia Siderúrgica Nacional. Estas pesquisas foram importantes para entendimento do atual espaço urbano no qual está inserido toda a população da cidade. Posteriormente foram realizadas pesquisas para obter conhecimento dos processos siderúrgicos envolvidos na fabricação do aço que é a principal atividade exercida pela CSN na UPV.

Foram realizadas pesquisas em órgãos da Administração Pública Federal e Estadual para que fosse possível a coleta de dados do monitoramento da qualidade do ar do município de Volta Redonda no qual o Estado do Rio de Janeiro, por meio do INEA, é o atual órgão estadual responsável por esta atividade. Os dados disponibilizados pelo IBGE, órgão do Governo Federal, sobre a quantidade de veículos registrados no município, foram importantes para dimensionar os níveis de emissões atmosféricas gerados pela atividade cotidiana da cidade de Volta Redonda onde a principal fonte de emissão notoriamente se dá por meio do tráfego dos veículos automotores.

Este trabalho utilizou a estratégia de isolamento dos setores que englobam as instalações da Usina Presidente Vargas e o restante da cidade de Volta Redonda. Por meio das análises diárias de tráfego de veículos na cidade, foi observado que o trânsito oferecia setores de intenso fluxo onde o impacto na qualidade do ar em função do trânsito era notório. Tendo em vista que o trânsito da cidade paralisa significativamente o seu fluxo nos horários noturnos e que a produção na UPV ocorre 24h por dia, foram realizadas então as análises de qualidade do ar durante os períodos noturnos nos quais é reduzida a capacidade de interferência das emissões oriundas do tráfego de veículos da cidade e tornando a análise de emissões oriundas da UPV mais fidedignas.

A ferramenta estatística utilizada para dar suporte matemático ao trabalho foi a Análise de Variância (ANOVA) no qual esta foi importante para verificar os cenários de emissões atmosféricas que resultaram da análise dos dados noturnos de qualidade

do ar. O principal objetivo da ANOVA é verificar diferenças estatísticas entre as médias mensais observadas nos dados de qualidade do ar. A ANOVA ao final de toda análise, indicará se as médias resultantes foram ou não significativamente diferentes, utilizando uma significância mínima de 5% que proporciona uma confiabilidade de 95% nos resultados. A partir do uso da ANOVA foi possível chegar aos resultados que este trabalho abordará nos próximos tópicos.

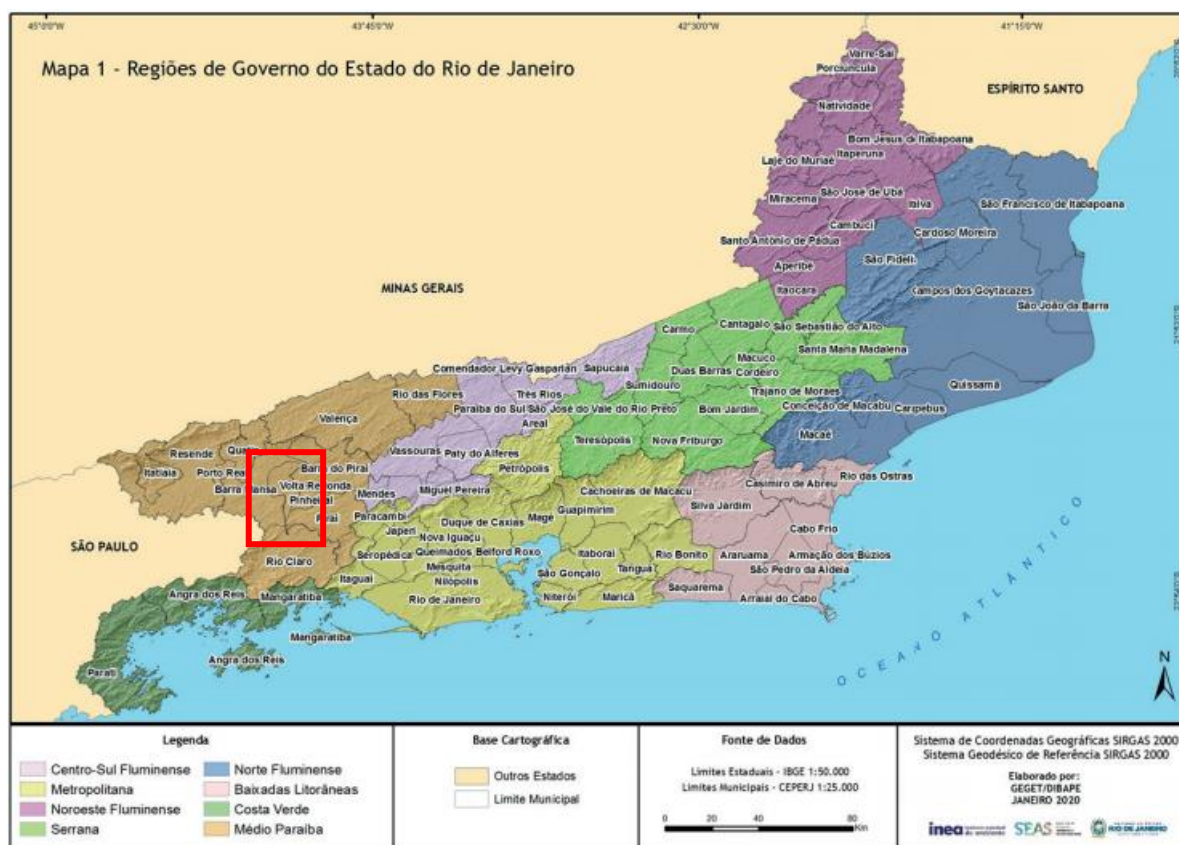
3.2 Caracterização de Volta Redonda

O município de Volta Redonda está inserido na Região do Médio Paraíba do Estado do Rio de Janeiro. Esta região abrange os municípios de Volta Redonda, Resende, Barra Mansa, Itatiaia, Quatis, Pinheiral, Barra do Piraí, Piraí, Valença, Rio das Flores, Porto Real e Rio Claro. A região do médio paraíba possui grande importância para economia de todo estado, comportando ao longo de sua extensão empresas do setor siderúrgico em Volta Redonda como também do setor automotivo em Resende e Porto Real e outras plantas industriais de produção de pneus, químicos, vidros e infraestrutura (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, 2018).

O município de Volta Redonda abordado por este trabalho, abrange uma área de 182,483 Km², altitudes que variam de 350 a 707 metros, a população em 2020 foi estimada em 273.988 habitantes (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020). A localização do município dentro do Estado do Rio de Janeiro, observa-se na Figura 10

Figura 10 em destaque em vermelho a seguir.

Figura 10: Localização do município de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro.



Fonte: (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, 2018).

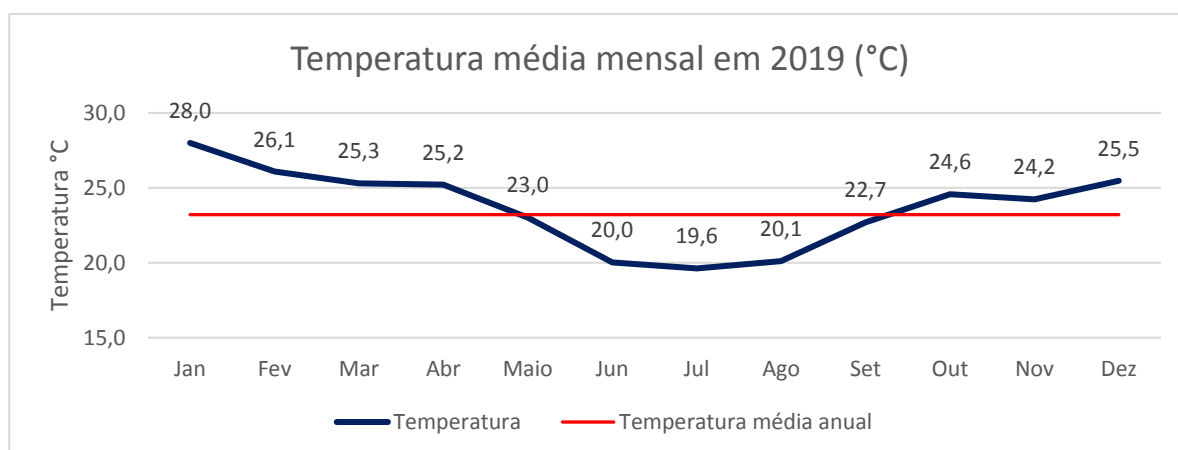
Em posse dos dados do monitoramento meteorológico realizado pelo Instituto Estadual do Ambiente no ano de 2019, foi possível verificar os parâmetros meteorológicos característicos do município naquele ano. A Figura 11 ilustra a temperatura média mensal para cada mês do ano de 2019, onde foi observado uma

temperatura média anual de 23,2°C em que foram registradas máximas mensais de 28°C e mínimas de 19,6°C.

De mesmo modo, a umidade relativa do ar apresentou média anual para 2019 em 71,1%. Onde a variação das médias mensais pode ser observada na Figura 12 a seguir.

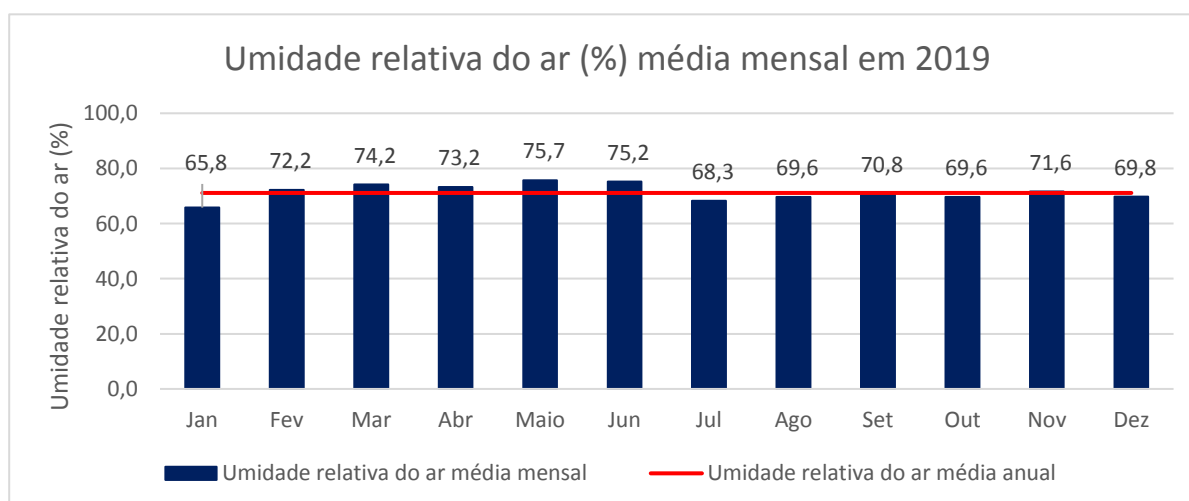
A precipitação acumulada para o ano de 2019 foi de 1.868 mm onde na Figura 13 é possível verificar os meses do ano mais representativos de acordo com a sazonalidade do ano.

Figura 11: Temperatura média mensal de Volta Redonda/RJ no ano de 2019.



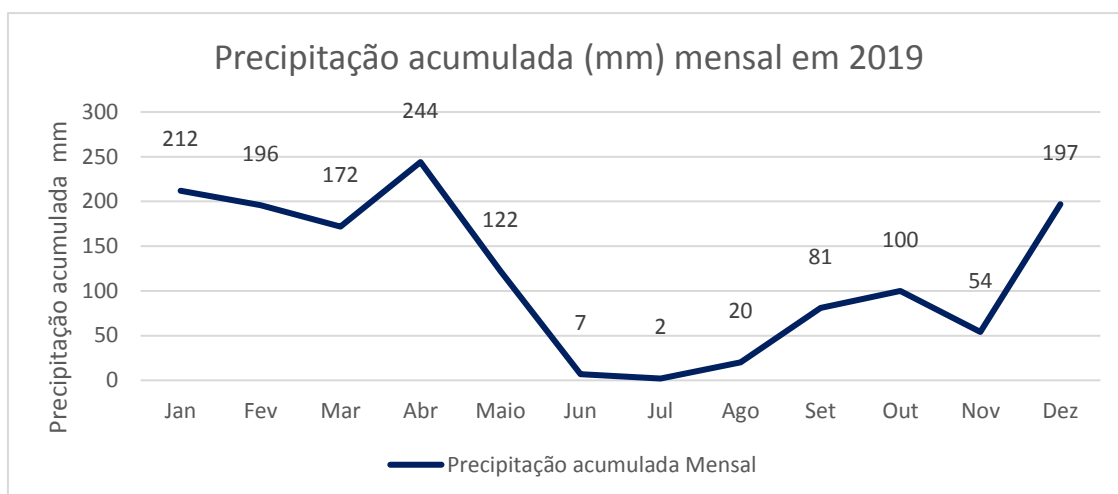
Fonte: (SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE/RJ, 2020).

Figura 12: Médias de umidade relativa do ar de Volta Redonda/RJ em 2019



Fonte: (SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE/RJ, 2020).

Figura 13: Precipitação acumulada mensal no ano de 2019 em Volta Redonda/RJ



Fonte: (SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE/RJ, 2020).

3.3 Trânsito típico de veículos em Volta Redonda

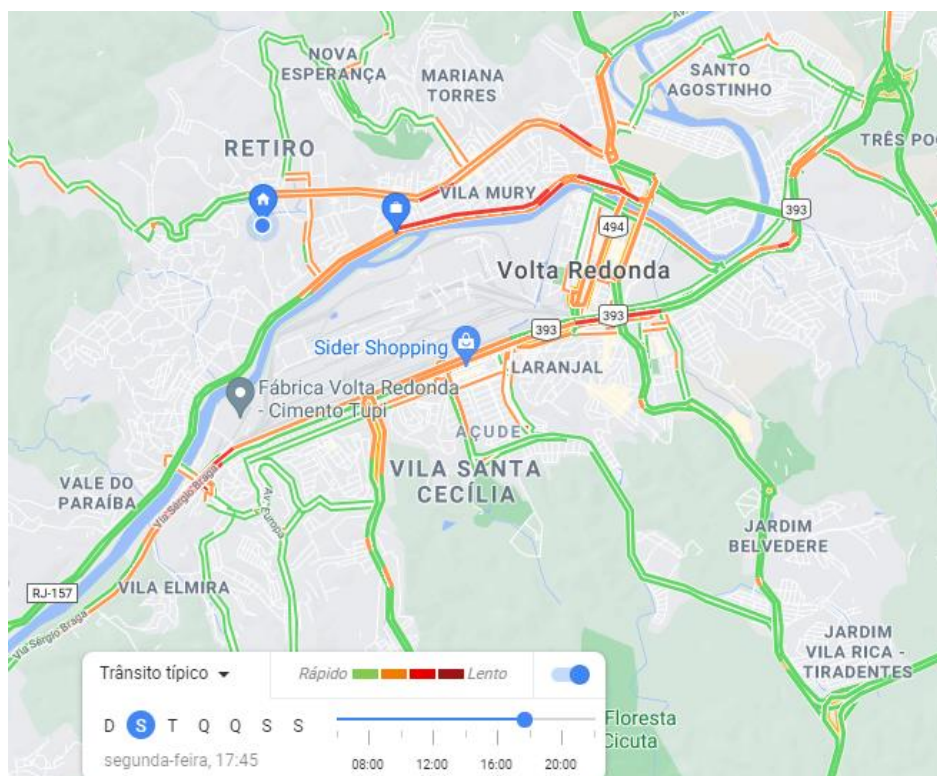
Conforme citado no item 1 deste trabalho, o espaço urbano da cidade de Volta Redonda e o espaço industrial que compõe a Usina Presidente Vargas, apresentam relações de curta proximidade física. Sendo notório a proximidade que as áreas urbanas tais como, ruas, avenidas, bairros e até moradias possuem em relação as áreas da usina. Levando em consideração esta proximidade é ressaltado a complexidade que as emissões oriundas da UPV e as oriundas da cidade (em especial as emissões veiculares) se relacionam.

Considerando a importância do entendimento do comportamento do trânsito de veículos da cidade para a pesquisa deste trabalho, foi realizado um levantamento do perfil do trânsito típico durante os dias da semana, utilizando as ferramentas do Google Mapas, ferramenta que segundo o próprio Google conta com informações de 40 milhões de quilômetros de estradas e 25 milhões de atualizações por dia em tempo real. Com a ferramenta do Google Mapas, foi possível analisar o tráfego típico de veículos durante os horários do dia e da semana na cidade de Volta Redonda (GOOGLE, 2021).

Conforme análise qualitativa dos perfis gráficos demonstrados pela ferramenta do Google, foi possível constatar que o horário de 17h45 representava nos dias de segunda-feira a sexta-feira o período do dia com o tráfego mais intenso nas vias da cidade.

Na Figura 14 é possível verificar que o horário das 17h45 é o mais intenso para o tráfego de veículos notado durante os dias de segunda-feira, que apresentou também, dentre todos os outros dias da semana, o dia de maior fluxo de trânsito. Na Figura 14 as cores em tons de vermelho representam maior congestionamento de veículos nas vias da cidade, seguido das cores laranja e verde para menor fluxo de veículos registrados gradativamente.

Figura 14: Trânsito típico de Volta Redonda/RJ no horário de 17h45 para segunda-feira.



Fonte: (GOOGLE, 2021)

3.4 Origem dos dados utilizados

Os dados da qualidade do ar utilizados para concepção deste trabalho, foram disponibilizados pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente que por meio do seu sítio

de internet, possibilita o acesso público as informações sobre a gestão do ar no Estado do Rio de Janeiro. Neste sítio, é permitido ao usuário selecionar o ano, município e estações desejadas para extração dos dados do monitoramento da qualidade do ar. A extração é realizada por meio de *download* de arquivos no formato XLS que possibilitam a sua visualização com o uso do *software* Microsoft Excel. Na Figura 15 é ilustrado um dos arquivos extraídos do sítio do INEA que permitem a visualização destes dados.

Figura 15: Arquivo extraído do sítio do INEA contendo os dados da qualidade do ar

Estação	Parâmetro	Unidade
Auto - Rs - Casa da Lua	Desvio Padrão Dir. do Vento	*
	Direção Escalar do Vento	*
	Partículas Inaláveis (<10um)	µg/m3
	Partículas Totais em Suspensão	µg/m3
	Precipitação Pluviométrica	mm
	Pressão Atmosférica	mbar
	Radiação Solar	W/m2
	Temperatura	°C
	Umidade Relativa	%
	Velocidade Escalar do Vento	m/s
Auto - Rs - Cidade Alegria	Díóxido de Enxofre	µg/m3
	Díóxido de Enxofre	ppm
	Nitrogênio	µg/m3

Fonte: (SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE/RJ, 2020).

Utilizando o *software* Microsoft Excel, foi possível verificar os dados desejados, que são organizados de acordo com os poluentes monitorados, e a concentração observada de cada um em função do horário de sua amostragem pela respectiva estação automática.

Este trabalho utilizou os dados da qualidade do ar dos anos de 2018 e 2019 para as estações automáticas de monitoramento Belmonte, Retiro e Santa Cecilia

ambas localizadas no município de Volta Redonda e disponibilizados pelo INEA através do seu sítio de internet.

3.5 Método de atenuação das emissões veiculares

Conforme demonstrado no item 2.7 deste trabalho, a amostragem do ar atmosférico por uma estação automática de monitoramento da qualidade do ar, consiste em expressar por meio de dados, o nível de concentração dos poluentes amostrados a cada horário do dia, totalizando um total de 24 dados de cada poluente analisado por dia. Ao final de cada dia, é realizado um cálculo de média aritmética destes 24 dados produzidos, esta média então será utilizada para verificar seu enquadramento nos valores e padrões previstos pela resolução CONAMA n. 491.

Dado a relevância ao exposto no item 3.3 deste trabalho, que evidencia o horário do dia e da semana com maior tráfego de veículos e a proximidade com que o trânsito da cidade possui com as áreas da Usina Presidente Vargas, acrescidos do expressivo número da frota veicular da cidade e suas emissões atmosféricas, conforme é abordado no item 2.6. Fica evidente a complexidade do estudo de analisar o impacto da operação da Usina Presidente Vargas na qualidade do ar no município de Volta Redonda, em virtude da interferência das emissões veiculares.

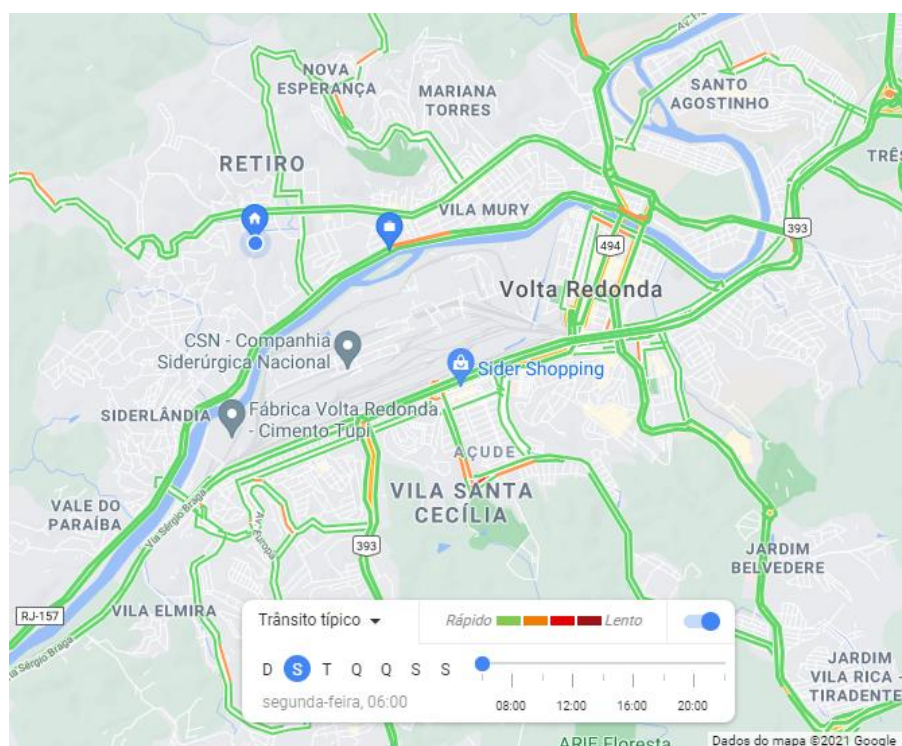
Com o intuito de atenuar a interferência das emissões veiculares nas análises que apuram as emissões provenientes da Usina Presidente Vargas. Este trabalho buscou uma solução voltada a utilização somente dos dados horários em que o trânsito típico da cidade fosse significativamente reduzido.

Esta metodologia persegue o sentido de que durante estes horários, o trânsito da cidade reduziria suficientemente acompanhando assim a diminuição das emissões atmosféricas derivadas do trânsito e por conseguinte tornando as análises mais focalizadas nas emissões da UPV, que mantem notavelmente sua produção durante estes horários.

Conforme é possível verificar na Figura 16 que ilustra o trânsito típico de segunda-feira, que é o dia da semana com maior tráfego de veículos observado, no horário de 6h, o fluxo de veículos é significativamente reduzido neste horário. De modo similar como observado na Figura 17, que ilustra o trânsito típico também de segunda-feira, que demonstrou ser o dia da semana com maior tráfego de veículos observado,

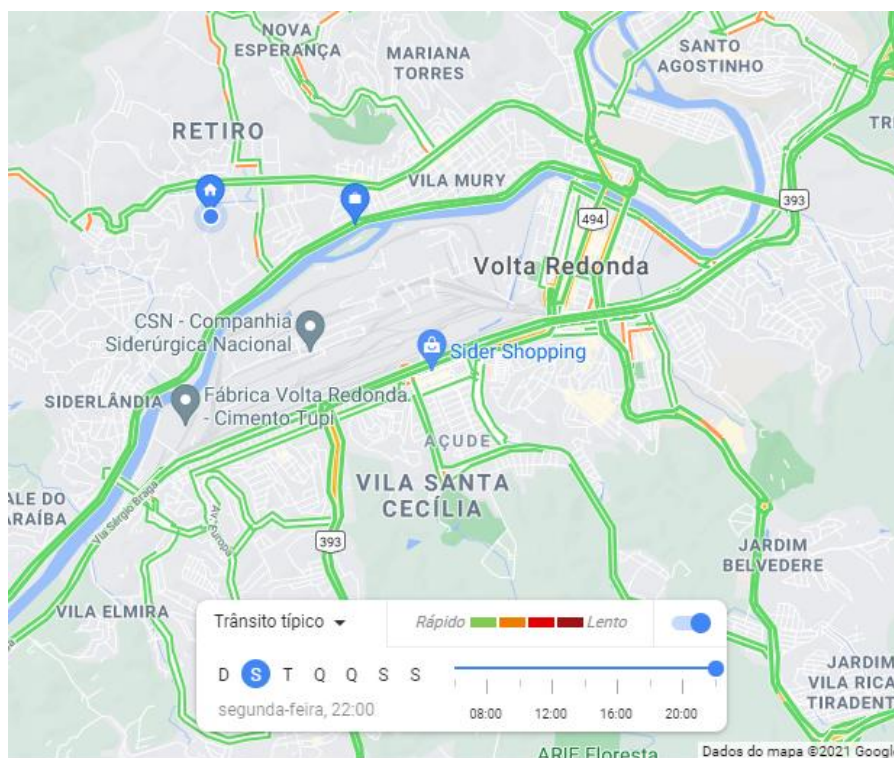
no horário de 22h, o fluxo de veículos é também significativamente reduzido neste horário. Ambas as condições são exibidas pela coloração verde, que indica reduzido tráfego de veículos.

Figura 16: Trânsito típico de segunda-feira as 6h em Volta Redonda/RJ.



Fonte: (GOOGLE, 2021)

Figura 17: Trânsito típico de segunda-feira as 22h em Volta Redonda/RJ.



Fonte: (GOOGLE, 2021)

Neste contexto, para concepção das análises deste trabalho, que buscam por verificar o impacto na qualidade do ar das emissões do Alto-Forno n. 3 da UPV durante seu período de reforma, foram utilizados os dados horários de 0h as 5h de cada dia do ano para o cálculo da média aritmética mensal da concentração de cada poluente. Optando assim por possuir uma maior redundância na redução do trânsito da cidade de Volta Redonda frente ao que já se demonstra encolhido nos horários de 6h e 22h conforme exposto anteriormente.

Selecionados os dados de 0h as 5h de cada dia dos anos de 2018 e 2019 para as estações Belmonte, Retiro e Santa Cecilia, foram realizados os cálculos de médias aritméticas utilizando o período mensal de cada ano para os poluentes analisados por cada estação.

Portanto, fica demonstrado a metodologia de focalização dos dados para as emissões nativas da Usina Presidente Vargas buscando assim atenuar ao máximo a interferência do trânsito de veículos da cidade. Face ao exposto, quando este trabalho citar a realização de médias mensais infere-se que, somente foram abarcados os dados horários de 0h a 5h de cada dia do respectivo mês para o seu cálculo.

3.6 Descrição do método estatístico ANOVA

Com o objetivo de validar as análises realizadas por este trabalho, foi utilizado o método estatístico de análise de variância (ANOVA) para determinar as diferenças observadas entre as médias aritméticas mensais, aplicando o conceito do item anterior que prevê a utilização somente dos dados de 0h as 5h, dos poluentes monitorados pelas estações automáticas do município de Volta Redonda.

A análise de variância permitiu inferir se houve diferença significativa entre as médias mensais dos dados da qualidade do ar do período anterior e durante a reforma do Alto-Forno n. 3 da UPV.

Para execução das análises de variância que foram necessárias para este trabalho, foi utilizado o *software* Microsoft Excel que contém a ferramenta de análise de variância de dados em suas funcionalidades. O *software* nesta aplicação forma uma tabela que apresenta em síntese os resultados dos parâmetros que compõem a ANOVA.

A premissa da análise de variância abarca as seguintes hipóteses:

- Hipótese H_0 (nula) afirma que os dados em populações possuem a mesma média.
- Hipótese H_1 afirma que nem todas as médias dos dados em populações são iguais.

Partindo disso é possível inferir conforme descarte da hipótese H_0 e afirmativa da hipótese H_1 que existe diferença significativa nas médias dos dados dos períodos analisados. Para descarte de uma hipótese e afirmativa de outra, o parâmetro que determinará estas conclusões, será no *software* Microsoft Excel, o *valor-P* que representa a significância mínima em percentual para conclusões das hipóteses da ANOVA (LAPPONI, 2005).

Este trabalho adotou uma significância mínima para afirmativa de hipótese H_1 e descarte da hipótese H_0 , o resultado de *valor-P* menor ou igual a 0,05 que indica uma significância mínima de 5%, ou seja, um nível de confiança de 95% para os resultados. Isto quer dizer que o *Valor-P* detectado pela ANOVA deve ser menor ou igual a 0,05 para afirmativa da hipótese H_1 . Para valores acima de 0,05 afirma-se então a hipótese H_0 .

Para o caso deste trabalho, a ANOVA permitiu evidenciar entre os poluentes atmosféricos monitorados a partir da metodologia exposta no item anterior, aqueles que foram constadas diferenças significantes (H_1) ou não (H_0) para suas respectivas médias, considerando o ano inteiro de 2019 em que aconteceu a reforma do Alto-Forno n. 3 da UPV em comparação ao ano inteiro de 2018 visto que, o equipamento operou normalmente naquele ano.

Cabe ainda destacar, que este trabalho optou por uma redundância maior de resultados, para isso também foi analisado por ANOVA, somente o período de meses do ano de 2019, em que aconteceu a reforma do Alto-Forno n. 3 da UPV, em comparação aos mesmos meses de 2018.

A Tabela 14 ilustra, conforme citado, a realização de duas ANOVAs em que a #1 comparou às médias mensais dos respectivos poluentes da respectiva estação, no período mensal de janeiro a dezembro dos anos de 2018 e 2019 a fim de detectar se houve ou não impacto significativo nas médias mensais pela reforma do alto-forno n. 3 da UPV. A ANOVA #2 comparou as médias mensais dos respectivos poluentes da respectiva estação no período mensal de julho a outubro dos anos de 2018 e 2019 para buscar uma maior redundância de detecção de impacto significativo ou não, utilizando somente a janela temporal destes meses, em que foi realizada a reforma do equipamento.

Tabela 14: ANOVAs realizadas e suas respectivas características.

Anova	Ano	Período Mensal	Estação		
			Belmonte	Retiro	Santa Cecilia
			Poluentes	Poluentes	Poluentes
#1	2018 e 2019	Jan a Dez	MP10	MP10	MP10
	2018 e 2019	Jan a Dez	PTS	SO ₂	PTS
	2018 e 2019	Jan a Dez	SO ₂	NO ₂	SO ₂
	2018 e 2019	Jan a Dez	NO ₂	NO _x	NO ₂
	2018 e 2019	Jan a Dez	NO _x	CO	CO
#2	2018 e 2019	Jul a Out	MP10	MP10	MP10
	2018 e 2019	Jul a Out	PTS	SO ₂	PTS
	2018 e 2019	Jul a Out	SO ₂	NO ₂	SO ₂
	2018 e 2019	Jul a Out	NO ₂	NO _x	NO ₂
	2018 e 2019	Jul a Out	NO _x	CO	CO

Fonte: Autor.

A ANOVA neste trabalho justifica-se para a verificação da existência de diferenças significantes entre a comparação dos grupos de médias mensais dos poluentes analisados, isto é, verificar se as diferenças amostrais observadas são reais (causadas por diferenças significantes observadas) ou casuais (por mera variabilidade amostral habitual). A análise de variância parte do princípio de que o acaso só pode produzir pequenos desvios entre as médias, sendo as grandes diferenças geradas por causas reais que neste trabalho é observada pela paralisação do Alto-Forno n. 3 da UPV (GUIMARÃES, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizadas todas as análises de dados utilizando a metodologia de isolamento descrita no item 3.5 e a ANOVA para a sua validação. Chegou-se aos resultados deste trabalho que serão abordados a partir deste item.

4.1 Detecções aferidas de MP₁₀ na estação de monitoramento Belmonte

Consoante descrição do item 2.7 a estação de monitoramento automática da qualidade do ar Belmonte, é uma das 3 estações localizadas no município de Volta Redonda, onde a frequência dos ventos tem maior incidência, passando antes pela UPV.

Esta estação segundo Reis, foi considerada pelo antigo COORDEMA, Coordenação de Defesa do Meio Ambiente, que na época de sua existência detinha o *status* que hoje seria da Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Município de Volta Redonda, como a única estação bem localizada, em função da direção dos

ventos e de constituir, realmente uma área de influência das emissões industriais, além de contar com pouco tráfego de veículos (REIS, 2004).

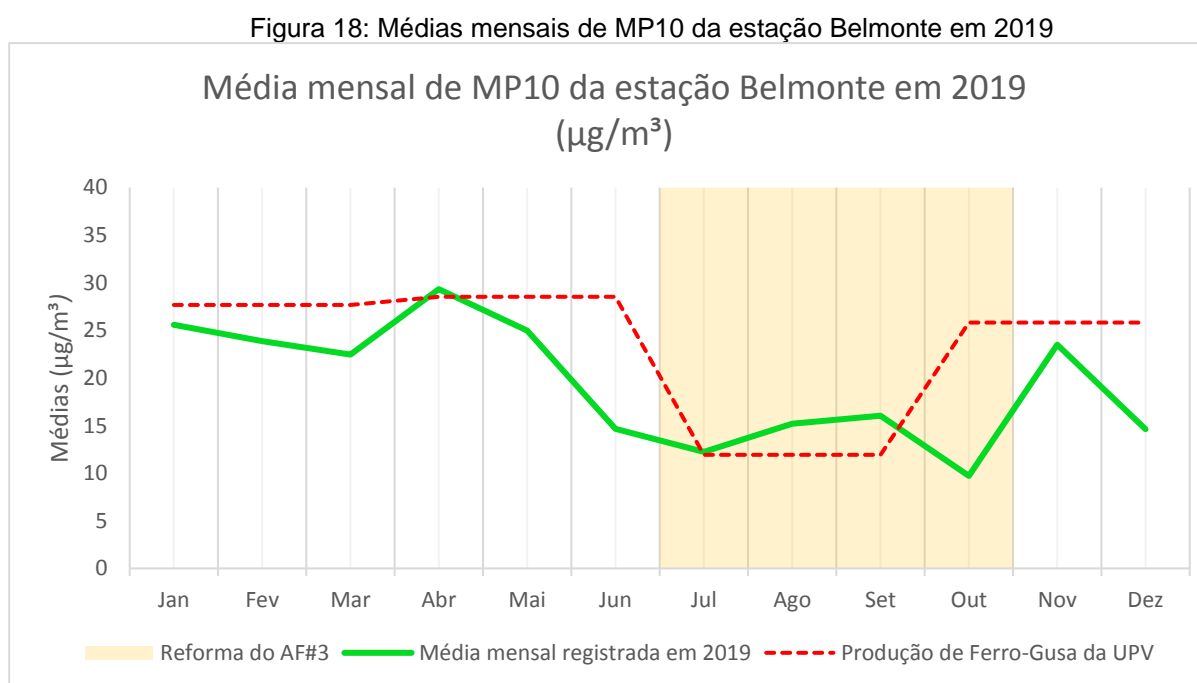
Na estação Belmonte, foi detectado a partir da ANOVA #2 em que se comparou os anos de 2018 e 2019 nos meses de julho a outubro (meses em que foi realizada a reforma do Alto-Forno n. 3 da UPV em 2019), um *valor-P* de 0,0060 que indica uma diferença significativa nas médias de MP₁₀ durante este período, conforme o nível de significância adotado de 5%. Na Tabela 15 é possível verificar a tabela ANOVA realizada através do *software* Microsoft Excel em que se constatou o resultado do *valor-P* citado.

Tabela 15: ANOVA#2 realizada para MP₁₀ na estação Belmonte.

Anova #2: MP10 estação Belmonte						
<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Linha 1	4	116,912	29,228	25,869		
Linha 2	4	53,1779	13,2945	8,34626		
Coluna 1	2	47,0201	23,51	254,479		
Coluna 2	2	45,7889	22,8945	118,41		
Coluna 3	2	45,0255	22,5127	84,0517		
Coluna 4	2	32,2554	16,1277	82,1694		
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	507,753	1	507,753	48,5774	0,00606	10,12
Colunas	71,2885	3	23,7628	2,27342	0,25874	9,2766
Erro	31,3573	3	10,4524			
Total	610,398	7				

Fonte: Autor.

A redução foi de 54,7% nas médias de MP_{10} no ano de 2019 nos períodos de julho a outubro se comparada ao mesmo período do ano imediatamente anterior de 2018. A Figura 18 ilustra junto com a comprovação estatística da ANOVA #2 que com a parada do alto-forno n. 3 da UPV para as reformas programadas, nos meses de julho a outubro de 2019, as médias mensais de MP_{10} apresentaram expressiva redução.



Esta condição de redução das emissões de MP_{10} detectados pela estação Belmonte levando em consideração as médias mensais utilizando somente os dados horário de 0h a 5h de cada dia (consoante a metodologia descrita no item 3.5 deste trabalho) e a validação indicada pela metodologia ANOVA, consente em expor que a reforma do Alto-Forno n. 3 da UPV durante seu período de realização de 28 de junho de 2019 a 28 de outubro de 2019, impactou positivamente na qualidade do ar do município de Volta Redonda de maneira que a redução das emissões atmosféricas observadas de MP_{10} foram de 54,7% em relação ao mesmo período do ano anterior em que o alto-forno estava operando normalmente.

Portanto, fica evidente a relação de causa e efeito na detecção das emissões de MP_{10} pela estação Belmonte, da paralisação temporária do Alto-Forno n. 3 da UPV na qualidade do ar do município de Volta Redonda, que a partir desta análise, buscou

atenuar ao máximo as contribuições de emissões atmosféricas advindas do trânsito de veículos da cidade e aferir a significância estatística de sua paralisação por meio do uso da avaliação estatística ANOVA.

4.2 Demais resultados aferidos

Este trabalho realizou conforme exposto na Tabela 14, as verificações de diferença significativa para as médias dos poluentes das respectivas estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar do município de Volta Redonda a partir do uso da ANOVA.

Os resultados obtidos e exibidos na Tabela 16, permitem verificar se houve ou não diferença significativa entre as medias analisadas por cada uma das ANOVAs dos inerentes poluentes e estações.

Tabela 16: Resultados das ANOVAs realizadas.

Anova	Ano	Período Mensal	Estação					
			Belmonte		Retiro		Santa Cecilia	
			Poluentes	Diferença	Poluentes	Diferença	Poluentes	Diferença
#1	2018 e 2019	Jan a Dez	MP10	Não	MP10	Sim	MP10	Não
	2018 e 2019	Jan a Dez	PTS	Sim	SO2	Não	PTS	Não
	2018 e 2019	Jan a Dez	SO2	Sim	NO2	Sim	SO2	Sim
	2018 e 2019	Jan a Dez	NO2	Não	NOx	Não	NO2	Sim
	2018 e 2019	Jan a Dez	NOx	Não	CO	Sim	CO	Não
#2	2018 e 2019	Jul a Out	MP10	Sim	MP10	Sim	MP10	Não
	2018 e 2019	Jul a Out	PTS	Não	SO2	Não	PTS	Não
	2018 e 2019	Jul a Out	SO2	Não	NO2	Sim	SO2	Sim
	2018 e 2019	Jul a Out	NO2	Não	NOx	Sim	NO2	Sim
	2018 e 2019	Jul a Out	NOx	Não	CO	Não	CO	Não

Fonte: Autor.

Após a verificação crítica dos resultados obtidos a partir das ANOVAs que apontaram diferença significativa entre as médias dos respectivos períodos, foi possível constatar que salvo a ANOVA #2 da estação Belmonte para MP₁₀ que foi abordada no item 4.1 deste trabalho, as demais não apresentaram correlação

evidente entre os seus resultados e a paralisação do Alto-Forno n. 3 da UPV para reforma, considerando conforme descreve Reis, que a estação Retiro, na área onde se encontra instalada, existe uma elevação geográfica próxima, que pode dificultar a captação dos poluentes, além de não estar localizada na direção predominante dos ventos e, a estação Santa Cecília, também não se localiza na direção predominante dos ventos o que torna a amostragem das emissões atmosféricas oriundas da atividade industrial da UPV desprezíveis (REIS, 2004).

Além disso, as informações disponíveis sobre a produção de aço registrada pela UPV durante o ano de 2019, resumem-se apenas na produção de ferro-gusa (principal produto do alto-forno) e não são abordados a produção registrada naquele ano pelas plantas de Coqueria e Sinterização que compõem a usina integrada que é a Usina Presidente Vargas. Portanto os resultados obtidos de outros poluentes como SO₂ e PTS ficam inexatos frente ao que é abordado nos itens 2.3.2 e 2.3.3 que trata as emissões atmosféricas registradas por estas plantas como emissoras destes poluentes.

Face ao exposto torna-se útil para correlação dos resultados com a reforma do Alto-Forno n. 3 da UPV, apenas os resultados que foram citados no item 4.1 deste trabalho. Para concluir os demais resultados obtidos que não possuíram correlação exata com o objetivo abordado por este trabalho (principalmente devido ao direcionamento dos ventos, interferências outras e ainda poluentes que não tem uma grande relação com as emissões do Alto-Forno n. 3 da UPV), são exibidos ao final no apêndice A para os resultados das ANOVAs #1 e apêndice B para as ANOVAs #2.

5. CONCLUSÕES

Diante das informações apresentadas, este trabalho buscou analisar o impacto que a paralisação do Alto-Forno n. 3 da UPV, em virtude das obras de sua reforma no ano de 2019, provocou na qualidade do ar do município de Volta Redonda.

Primeiramente, a partir dos resultados elencados, conclui-se com a utilização do método estatístico ANOVA e o método de atenuação das emissões veiculares, que devido a paralisação do Alto-Forno n. 3 da UPV naquele ano, as médias mensais de emissões de MP₁₀ avaliados pela estação de monitoramento automática Belmonte, apresentaram diferenças significantes e uma redução 54,7% no período de meses de julho a outubro de 2019 (período em que ocorreu a reforma do equipamento) em relação ao mesmo período do ano anterior (2018), ao nível de significância de 5%, ou seja, ao nível de confiança de 95% para os resultados, conforme a ANOVA realizada.

Posteriormente, embora tenham sido notadas outras diferenças significantes entre as médias mensais por meio das ANOVAs realizadas, concluiu-se que, estas não seriam uteis para o real objetivo deste trabalho devido principalmente a predominância da direção dos ventos e a localização das estações Retiro e Santa Cecília não serem favoráveis para a avaliação das emissões industriais oriundas da UPV, bem como os poluentes notadas por estas diferenças não possuem expressiva relação com as emissões típicas do Alto-Forno n. 3 da UPV.

Portanto, fica evidente o impacto que a paralisação temporária realizada em 2019 (em virtude das obras de reforma) do Alto-Forno n. 3 da UPV, que é um dos principais equipamentos e processos utilizados na fabricação do aço da CSN, provocou na qualidade do ar do município de Volta Redonda, sendo notada uma redução expressiva nas emissões de MP₁₀ durante os períodos de sua duração na estação de monitoramento Belmonte, que é a estação melhor localizada para aferição

das emissões industriais provenientes da UPV. Recomenda-se por fim para posteriores análises da qualidade do ar de Volta Redonda, focalizados nas emissões de poluentes oriundos da atividade industrial da Usina Presidente Vargas, a utilização do método de atenuação das emissões veiculares, que consiste na utilização de dados de 0h a 5h de cada dia, bem como a focalização nos dados provenientes da estação de monitoramento automática Belmonte, que proporciona resultados mais representativos em relação as emissões industriais da UPV.

Ainda este trabalho recomenda a reavaliação das localizações das estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar do município de Volta Redonda, buscando assim, que estas estações operem em áreas que representam maior influência das emissões industriais oriundas da UPV, a partir da avaliação da direção predominante dos ventos e do distanciamento máximo possível de áreas que possuem intenso tráfego de veículos automotores.

Por fim, recomenda-se para estudos posteriores, a associação dos números de casos de enfermidades de saúde em relação as análises da qualidade do ar, visando desta maneira, verificar a ligação entre o aumento/redução das emissões atmosféricas com o aumento/redução dos números de casos de enfermidades que são diretamente relacionados a problemas decorrentes da poluição atmosférica.

6. REFERÊNCIAS

ACERVO O GLOBO (Rio de Janeiro). **Na cartada do presidente Vargas durante a Segunda Guerra, nasce a CSN em 1941. O Globo.** Rio de Janeiro, p. 1. 02 abr. 2018. Disponível em: <https://acervo.oglobo.globo.com/em-destaque/na-cartada-do-presidente-vargas-durante-segunda-guerra-nasce-csn-em-1941-22547774>. Acesso em: 25 set. 2020.

ALBERTI, Verena. A construção da grande siderurgia e o orgulho de ser brasileiro: entrevistas com pioneiros e construtores da CSN. In: V ENCONTRO NACIONAL DE HISTÓRIA ORAL, 5., 1999, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas (Fafich) da Universidade Federal de Minas Gerais. **A construção da grande siderurgia e o orgulho de ser brasileiro:.** Belo Horizonte: Cpdoc-Fgv, 1999. p. 1-11. Disponível em: https://cpdoc.fgv.br/producao_intelectual/arq/864.pdf. Acesso em: 20 out. 2020.

ARAÚJO, L. **Manual de Siderurgia, Produção.** [S.l.]: Editora São Paulo, Brasil: Arte & Ciência, 1997.

BARROS, Gustavo. **O Problema Siderúrgico Nacional na Primeira República.** 2011. 255 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Departamento de Economia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12138/tde-24012012-135049/publico/GustavodeBarrosVC.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

BARROS, Gustavo. **Discurso e contexto: política siderúrgica no primeiro governo Vargas (1930-1937).** 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

Disponível em: <https://www2.ufjf.br/poseconomia/files/2012/09/TD-007-2012-Gustavo-Barros1.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

BITENCOURT, Emanoelen Bitencourt e *et al.* Determinação de material particulado em indústria siderúrgica: estudo de caso. **Revista Gestão Industrial**, Curitiba, v. 16, n. 1, p. 22-39, mar. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/viewFile/9548/7868>. Acesso em: 25 nov. 2020.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, [S. l.], n. 51, p. 58-71, 2001. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i51p58-71. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/35099>. Acesso em: 23 abr. 2021.

CALDAS, José Augusto de Castro. **ANÁLISE DE DUAS ROTAS TECNOLÓGICAS NA SIDERURGIA BRASILEIRA COM FOCO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. 2011. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011. Disponível em: https://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2011_3_Jos%C3%A9-Augusto.pdf. Acesso em: 10 dez. 2020.

CARNEIRO, José Luciano. **Ciência E Tecnologia, Companhia Siderúrgica Nacional, Engenharia, História de Empresas, Indústria Siderúrgica, Privatização, Volta Redonda. Ciência E Tecnologia, Companhia Siderúrgica Nacional, Engenharia, História de Empresas, Indústria Siderúrgica, Privatização, Volta Redonda.**, [s. l.], 2008. Disponível em: <http://www.fgv.br/cpdoc/historal/arq/Entrevista55.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2021.

CARVALHO, Vanessa Silveira Barreto. **METEOROLOGIA DA QUALIDADE DO AR NO QUE TANGE AS CONCENTRAÇÕES DE OZÔNIO E DOS ÓXIDOS DE NITROGÊNIO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO**. 2006. 146 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufjr-pem_upl/THESIS/682/pemufjr2006mscvanessasilveirabarretocarvalho.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

CENTRO DE PESQUISA E DOCUMENTAÇÃO DE HISTÓRIA CONTEMPORÂNEA DO BRASIL (Rio de Janeiro). Fundação Getúlio Vargas. **CSN: uma decisão política**. Disponível em: <https://cpdoc.fgv.br/producao/dossies/FatosImagens/CSN>. Acesso em: 25 set. 2020.

CETESB COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). Governo do Estado de São Paulo. **QUALIDADE DO AR NO ESTADO DE SÃO PAULO**. Pinheiros – Sp: Cetesb, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2020/07/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-20>. Acesso em: 20 fev. 2021.

CGEE, CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2010, Brasília. **Siderurgia no Brasil 2010-2025**. Brasília: CGEE, 2010. 116 p. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Siderurgia_no_Brasil__9567.pdf/893da7ee-8608-4251-adc1-10c2bf95b009?version=1.0. Acesso em: 10 dez. 2020.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL (São Paulo). **CARBOQUÍMICOS**: fluxo de geração. Fluxo de Geração. 2021. Disponível em: <https://www.csn.com.br/homepage/coprodutos-e-quimicos/carboquimicos/>. Acesso em: 20 dez. 2020.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. **Relações com Investidores**. 2020. Disponível em: <https://ri.csn.com.br/>. Acesso em: 20 out. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 19 de novembro de 2018. **RESOLUÇÃO CONAMA N. 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018**, [S. l.], 19 nov. 2018. Disponível em:

<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. Acesso em: 2 jun. 2021.

COSTA, Luiz Claudio. Parâmetros de controle do processo de coqueificação das baterias de fornos de coque da COSIPA. 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3140/tde-02062008-161728/publico/texto_dissertacao_2802. Acesso em: 20 nov. 2020.

COSTA, Verlaine Lia *et al.* Processo produtivo e produção de aço: a inserção do Grupo Gerdau S.A. no cenário mundial. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO, 1., 2007, Ponta Grossa. **Processo produtivo e produção de aço: a inserção do Grupo Gerdau S.A. no cenário mundial**. Ponta Grossa: Uepg, 2007.p.1-7.

Disponível em:

http://ri.uepg.br:8080/riuepg/bitstream/handle/123456789/778/EVENTO_Processo%20produtivo%20e%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20a%C3%A7o%20a%20ins%20er%C3%A7%C3%A3o%20do%20Grupo%20Gerdau.pdf?sequence=1. Acesso em: 25 dez. 2020.

DE MELO LISBOA, HENRIQUE (Santa Catarina). Universidade Federal de Santa Catarina. **CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2010. 8 p. Disponível em: <http://repositorio.asc.es.edu.br/bitstream/123456789/418/3/Sumario.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

DIAS, Anderson Alberto C. *et al.* A ATMOSFERA TERRESTRE: COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA. **Caderno de Física da UFES**, Universidade Estadual de Feira de Santana, v. 5, n. 1, p. 1-20, Não é um mês válido! 2007. Anual. Disponível em: <http://dfisweb.uefs.br/caderno/vol5n12/Atmosfera.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

FIGUEIREDO, Isabel Peralva. **AVALIAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA SOB A ÓTICA DO CONTROLE E MONITORAMENTO: O CASO DA CSN**. 2016. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, A Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017105.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FILHO, Renato Vergnhanini. Emissão de óxidos de nitrogênio (NOX) na combustão industrial. **Revista IPT | Tecnologia e Inovação**, [S. l.], p. 1-14, 1 jan. 2016. Disponível em: <http://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/view/24>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FONTES, Ângela; PIMENTA, Luís; PIMENTA, Margareth; LAMARÃO, Sérgio; SUSINI, Thais; ZVEIBIL, Victor. Volta Redonda: história de uma cidade ou de uma usina? **Revista Rio de Janeiro, Rio de Janeiro**, v. 4, n. 4, p. 1-14, jul. 1986. Disponível em: http://www.forumrio.uerj.br/documentos/revista_18-19/Cap-12_Angela_Fontes_Sergio_Lamarao.pdf. Acesso em: 04 jan. 2021.

GABRIEL FERREIRA DA SILVA BRITO. **Impact of Particulate Matter on Air Quality**. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 1335-1354, 2018. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20180092>. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v10n5a15.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

GASPARINI, Vitor Maggioni. **Desenvolvimento de um Modelo de Controle de Processo para Altos-Fornos a Coque Aplicado a Altos-Fornos Industriais**. 2016. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de M Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais,

Belo Horizonte, 2016. Disponível em:

[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AK3NXY/1/tese___vitor_gasparini.pdf)

[AK3NXY/1/tese___vitor_gasparini.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AK3NXY/1/tese___vitor_gasparini.pdf). Acesso em: 20 nov. 2020.

GOMES, Rodrigo da Silveira. **ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E DA SUSTENTABILIDADE EM USINAS SIDERÚRGICAS INTEGRADAS A COQUE.**

2016. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019681.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.

GOOGLE. **Google Maps.** 2021. Disponível em: <https://cloud.google.com/maps-platform/routes?hl=pt-br>. Acesso em: 20 mar. 2021.

GRAND STRAND REGIONAL MEDICAL CENTER, 2018, Kenilworth. **Intoxicação por monóxido de carbono.** Kenilworth: Merck And Co., Inc, 2018. Disponível em:

<https://www.msmanuals.com/pt/profissional/les%C3%B5es-intoxica%C3%A7%C3%A3o/intoxica%C3%A7%C3%A3o/intoxica%C3%A7%C3%A3o-por-mon%C3%B3xido-de-carbono>. Acesso em: 20 dez. 2020.

GUIMARÃES, Amanda Munari. **Análise de Variância (ANOVA) one-way e Tukey usando R.** 2019. Disponível em: <https://medium.com/omixdata/an%C3%A1lise-de-vari%C3%A2ncia-anova-one-way-e-tukey-usando-r-f91b6f79240e>. Acesso em: 06 jun. 2021.

IBGE Cidades - Volta Redonda. [S. l.], 1 JUL. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/volta-redonda/panorama>. Acesso em: 20 out. 2020.

INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019, Rio de Janeiro. **Anuário estatístico 2020.** Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2020. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2020/06/Anuario_Completo_2020.pdf. Acesso em: 20 fev. 2021.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (Rio de Janeiro). Governo do Estado do Rio de Janeiro. **RELATÓRIO DA QUALIDADE DO AR ANO BASE 2018 DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**. 2018. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/11/relatorio-qualidade-ar-2018.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (Rio de Janeiro). Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Rede Semiautomática de Monitoramento de Qualidade do Ar**. 2021. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Monitoramentodoar-EmiQualidade/Qualidoar/Redesemi-automonitdaqualidoar/index.htm&lang=#ad-image-0>. Acesso em: 02 jun. 2021.

JORNAL A VOZ DA CIDADE (Volta Redonda). **CSN investe 250 milhões de reais na reforma do Alto-Forno 3**. 2019. Disponível em: <https://avozdacidade.com/wp/csn-investe-r-250-milhoes-na-reforma-no-alto-forno-3/>. Acesso em: 02 jun. 2021.

LAPPONI, Juan Carlos. **Estatística usando Excel**. Rio de Janeiro: Estúdio Castellani, 2005.

MANGABEIRA, Wilma. **Dilemas do novo sindicalismo: Democracia e política em Volta Redonda**. Rio de Janeiro: Anpocs, 1993. 247 p.

MOREIRA, Ruy. **Ascensão e crise de um paradigma disciplinar (O Espaço do complexo CSN-Volta Redonda)**. Niterói: Departamento de Geografia, 1996. 13 p. Disponível em: <http://agbpp.dominiotemporario.com/doc/moreiran18.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

NEFUSI, N; & GUIMARÃES, F.A. **Curso sobre Poluição - Ar e Água**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Petróleo, 1976.

OLIVEIRA, André Albuquerque Bittencourt de. **INVENTÁRIO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA**. 2014. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de

Janeiro, 2014. Disponível em:
<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009328.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020

PAULO, Folha de São. **CSN investe US\$ 150 milhões e inicia amanhã reforma de alto-forno.** 2001. Disponível em:
<https://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u20551.shtml>. Acesso em: 20 jan. 2021.

PEITER, Paulo; TOBAR, Carlos. Poluição do ar e condições de vida: uma análise geográfica de riscos à saúde em volta redonda, rio de janeiro, brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 473-485, jul. 1998. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x1998000300003>.

QUALIDADE do ar. [S. /], 1 nov. 2020. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-do-ar/>. Acesso em: 20 dez. 2020.

REIS, Marcelo Moreno dos. **AVALIAÇÃO DE RISCO DE BENZENO EM VOLTA REDONDA: AS INCERTEZAS NA AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO.** 2004. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências na Área de Saúde Pública, Fiocruz Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em:
<https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/5326/2/618.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.

RIZZO, E.M.S. **Introdução aos processos siderúrgicos.** São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, (2005). 150p. Série: Capacitação Técnica em Processos Siderúrgicos: conhecimentos básicos.

SCHEID, Adriano. **Propriedades Mecânicas dos Aços.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. Color.

SPENCE, A.; PRITCHARD, W. **Development of expert systems for blast furnace operation and control.** EUR(Luxembourg), 1997. Office for official publications of the European Communities, 1997

TEIXEIRA, Elba Calessio; FELTES, Sabrina; SANTANA, Eduardo Rodrigo Ramos de. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Química Nova**, [S.L.], v. 31, n. 2, p. 244-248, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000200010>.

VALE, Jornal Diário do. **Reforma no Alto-Forno da CSN começa neste sábado**. 2019. Disponível em: <https://diariodovale.com.br/regiao/reforma-no-alto-forno-da-csn-comeca-neste-sabado/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

XAVIER FILHO, Santelmo. **ANÁLISE DOS INDICADORES DE SEGURANÇA DO TRABALHO EM REFORMAS DE ALTOS FORNOS EM SIDERÚRGICAS**. 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30374858.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

7. APÊNDICE

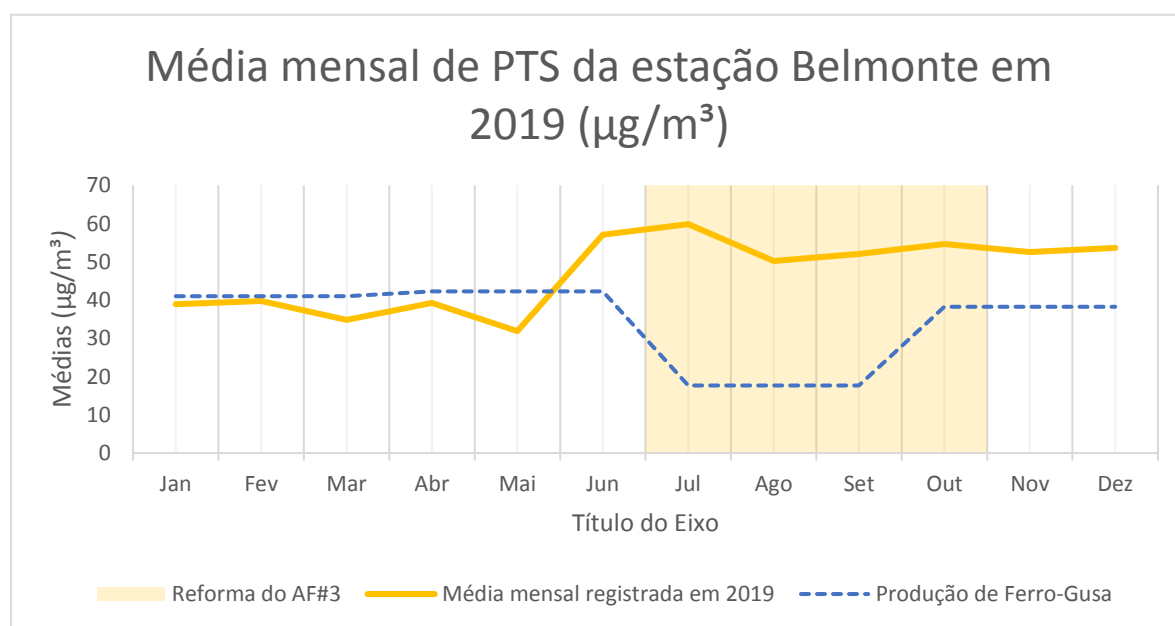
7.1 Apêndice A

Tabela 17: ANOVA#1 de PTS da estação Belmonte.

Anova #1: PTS estação Belmonte						
RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância		
Linha 1	12	457,32	38,11	76,6661		
Linha 2	12	564,623	47,052	90,0456		
Coluna 1	2	73,7316	36,8658	8,59446		
Coluna 2	2	68,1528	34,0764	64,91		
Coluna 3	2	74,5881	37,294	12,3354		
Coluna 4	2	75,0569	37,5284	5,6733		
Coluna 5	2	66,7463	33,3731	4,44041		
Coluna 6	2	93,0118	46,5059	222,059		
Coluna 7	2	116,207	58,1036	6,13982		
Coluna 8	2	102,705	51,3523	2,72954		
Coluna 9	2	96,2485	48,1242	30,6281		
Coluna 10	2	84,8111	42,4056	299,208		
Coluna 11	2	83,281	41,6405	239,055		
Coluna 12	2	87,4039	43,7019	198,904		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	479,748	1	479,748	8,58186	0,0137	4,84434
Colunas	1218,9	11	110,809	1,98218	0,13591	2,81793
Erro	614,929	11	55,9026			
Total	2313,58	23				

Fonte: Autor.

Figura 19: Médias mensais de PTS da estação Belmonte em 2019.

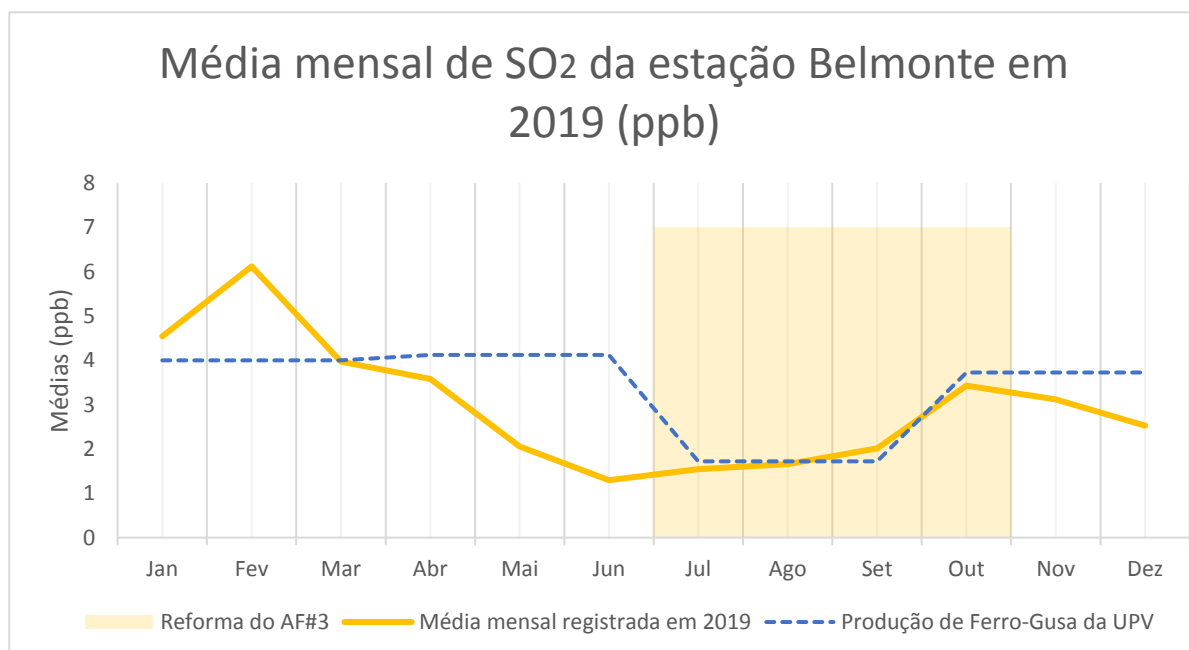


Fonte: Autor.

Tabela 18: ANOVA #1 de SO₂ da estação Belmonte.

Anova#1: SO2 estação Belmonte						
RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância		
Linha 1	12	18,8598	1,57165	1,06508		
Linha 2	12	35,8376	2,98647	2,0426		
Coluna 1	2	5,32918	2,66459	7,02818		
Coluna 2	2	6,5559	3,27795	16,0889		
Coluna 3	2	4,89938	2,44969	4,63559		
Coluna 4	2	5,739	2,8695	0,99971		
Coluna 5	2	3,279	1,6395	0,35223		
Coluna 6	2	2,75025	1,37513	0,0127		
Coluna 7	2	3,39804	1,69902	0,04957		
Coluna 8	2	6,03693	3,01846	3,70783		
Coluna 9	2	3,4649	1,73245	0,15595		
Coluna 10	2	4,24835	2,12418	3,41079		
Coluna 11	2	4,37597	2,18798	1,73254		
Coluna 12	2	4,62053	2,31027	0,08967		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	12,0102	1	12,0102	5,03217	0,04644	4,84434
Colunas	7,93097	11	0,721	0,30209	0,97049	2,81793
Erro	26,2535	11	2,38668			
Total	46,1946	23				

Fonte: Autor.

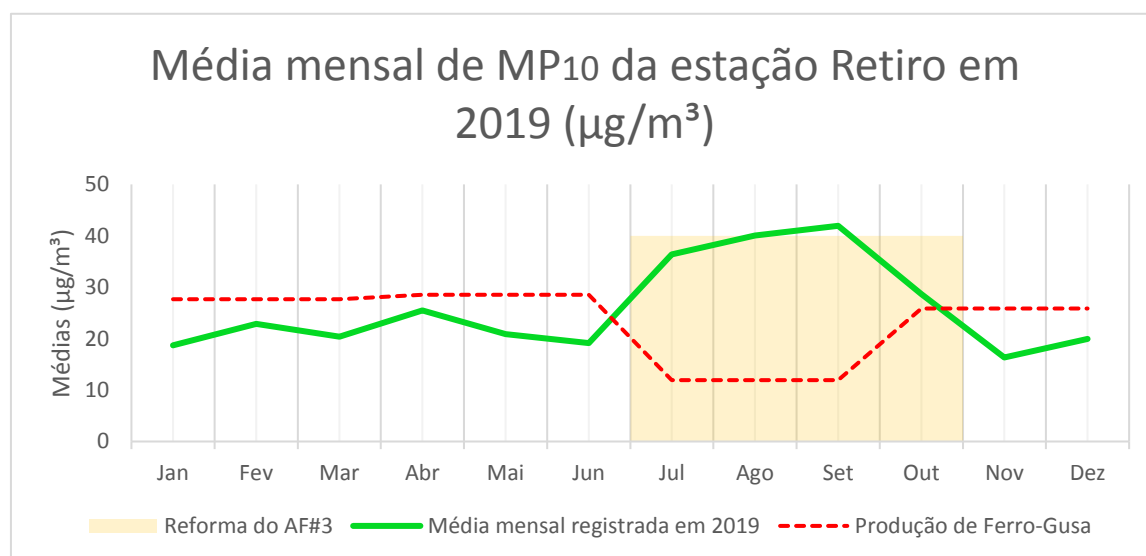
Figura 20: Médias mensais de SO₂ da estação Belmonte em 2019.

Fonte: Autor.

Tabela 19: ANOVA #1 de MP₁₀ da estação Retiro.

Anova#1: MP10 estação Retiro						
RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância		
Linha 1	12	212,8123239	17,7344	13,0738		
Linha 2	12	310,9413139	25,9118	78,5127		
Coluna 1	2	37,17603728	18,588	0,03464		
Coluna 2	2	40,79160608	20,3958	12,2339		
Coluna 3	2	40,7531367	20,3766	0,00267		
Coluna 4	2	45,20192397	22,601	17,0363		
Coluna 5	2	35,86493643	17,9325	17,6733		
Coluna 6	2	31,49634287	15,7482	23,1109		
Coluna 7	2	58,66898608	29,3345	100,1		
Coluna 8	2	60,22306067	30,1115	197,278		
Coluna 9	2	65,17908231	32,5895	174,981		
Coluna 10	2	45,04882846	22,5244	75,4545		
Coluna 11	2	28,88353617	14,4418	7,23256		
Coluna 12	2	34,46616079	17,2331	14,8917		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	401,221	1	401,221	18,481	0,00126	4,84434
Colunas	768,644	11	69,8767	3,21866	0,03244	2,81793
Erro	238,809	11	21,7099			
Total	1408,67	23				

Fonte: Autor.

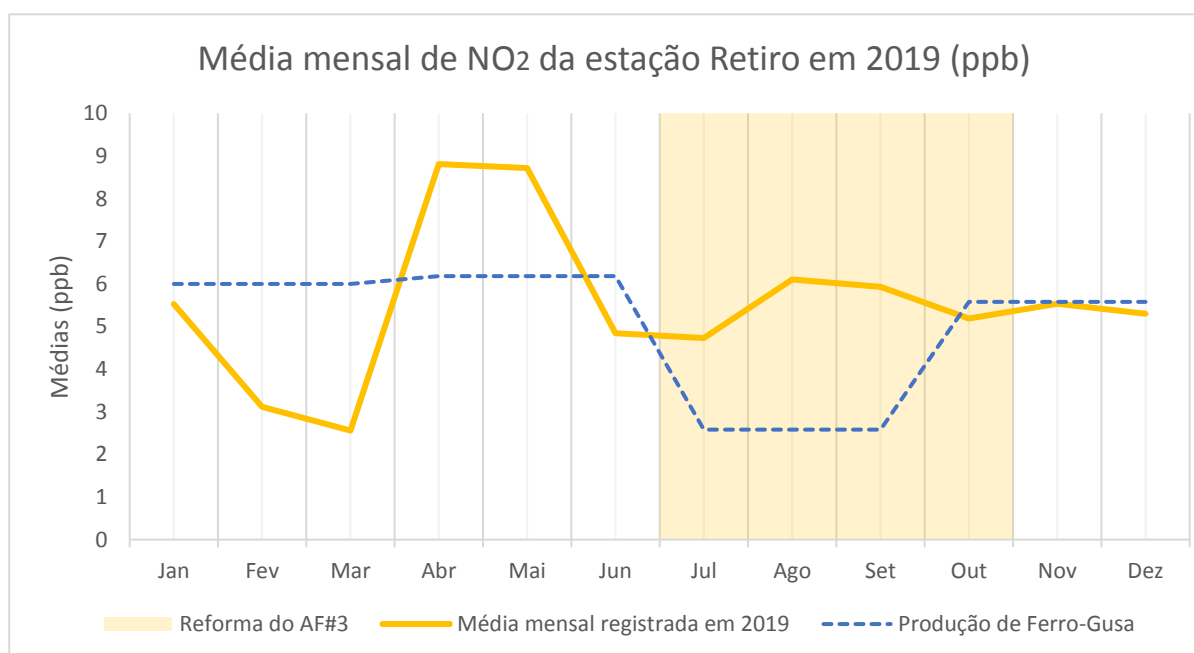
Figura 21: Médias mensais de MP₁₀ da estação Retiro em 2019.

Fonte: Autor.

Tabela 20: ANOVA#1 de NO₂ da estação Retiro.

Anova#1: NO2 estação Retiro						
RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância		
Linha 1	12	37,40604828	3,11717	1,72473		
Linha 2	12	66,34067296	5,52839	3,39474		
Coluna 1	2	8,651192918	4,3256	2,88794		
Coluna 2	2	6,226689097	3,11334	1,5E-06		
Coluna 3	2	5,693991176	2,847	0,1665		
Coluna 4	2	11,59064788	5,79532	18,1493		
Coluna 5	2	12,15741779	6,07871	13,9043		
Coluna 6	2	11,18332037	5,59166	1,13092		
Coluna 7	2	7,654208165	3,8271	1,62433		
Coluna 8	2	8,234156969	4,11708	7,86003		
Coluna 9	2	7,160981175	3,58049	11,0593		
Coluna 10	2	6,71302792	3,35651	6,68409		
Coluna 11	2	8,999925204	4,49996	2,14321		
Coluna 12	2	9,48116258	4,74058	0,626		
ANOVA						
te da varia	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	34,8839	1	34,8839	12,2391	0,00498	4,84434
Colunas	24,9621	11	2,26928	0,79618	0,64397	2,81793
Erro	31,3521	11	2,85019			
Total	91,198	23				

Fonte: Autor.

Figura 22: Médias mensais de NO₂ da estação Retiro em 2019.

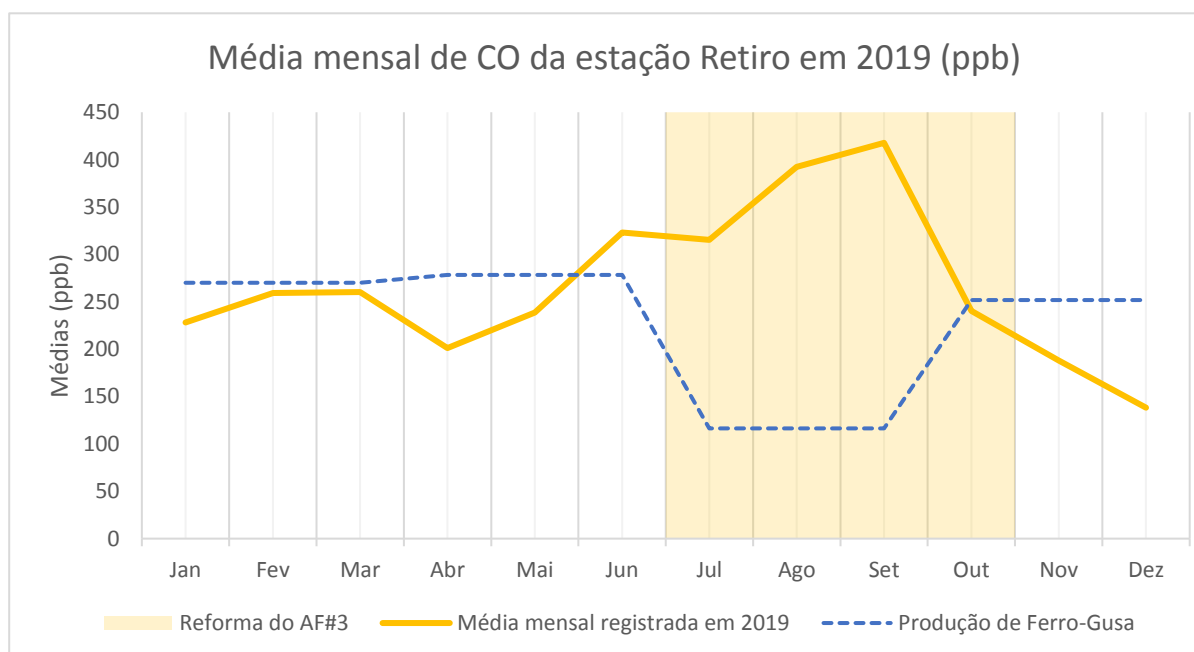
Fonte: Autor.

Tabela 21: ANOVA#1 de CO da estação Retiro.

Anova#1: CO estação Retiro						
RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância		
Linha 1	12	2382,164606	198,514	2169,35		
Linha 2	12	3201,871315	266,823	6752,75		
Coluna 1	2	428,7481239	214,374	372,733		
Coluna 2	2	421,2301881	210,615	4732,04		
Coluna 3	2	435,0288566	217,514	3626,81		
Coluna 4	2	408,4150847	204,208	20,7918		
Coluna 5	2	395,0017083	197,501	3356,36		
Coluna 6	2	453,3222181	226,661	18619		
Coluna 7	2	503,5831788	251,792	8086,57		
Coluna 8	2	579,1236816	289,562	21135		
Coluna 9	2	643,2586032	321,629	18462,7		
Coluna 10	2	522,0331215	261,017	851,274		
Coluna 11	2	472,1367533	236,068	4649,07		
Coluna 12	2	322,1544024	161,077	1046,23		
ANOVA						
te da varia	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	27996,6	1	27996,6	5,40647	0,04021	4,84434
Colunas	41181,2	11	3743,75	0,72296	0,70013	2,81793
Erro	56961,9	11	5178,35			
Total	126140	23				

Fonte: Autor.

Figura 23: Médias mensais de CO da estação Retiro em 2019.

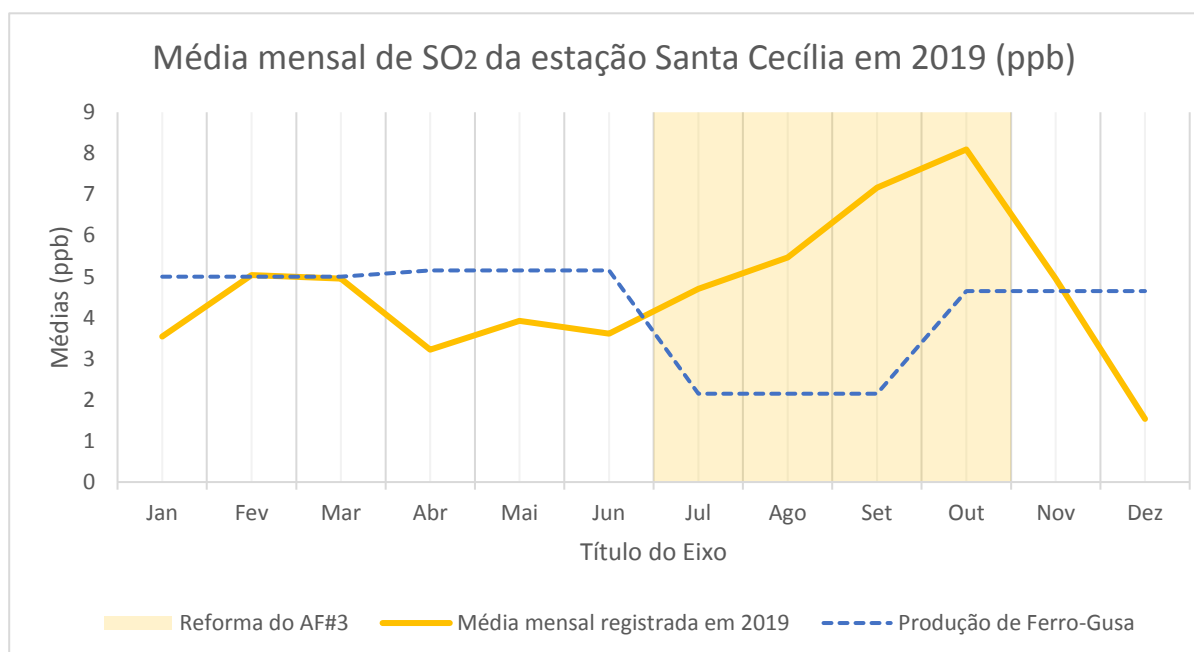


Fonte: Autor.

Tabela 22: ANOVA #1 de SO₂ da estação Santa Cecília.

Anova#1: SO2 estação Santa Cecília						
RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância		
Linha 1	12	29,14000392	2,428334	2,026862		
Linha 2	12	56,21103635	4,684253	3,065995		
Coluna 1	2	9,369058349	4,684529	2,61786		
Coluna 2	2	9,629243649	4,814622	0,0997		
Coluna 3	2	6,501168817	3,250584	5,802909		
Coluna 4	2	5,49166969	2,745835	0,46008		
Coluna 5	2	6,218274382	3,109137	1,329017		
Coluna 6	2	4,597888722	2,298944	3,4502		
Coluna 7	2	5,682583804	2,841292	6,94393		
Coluna 8	2	6,959444712	3,479722	7,859702		
Coluna 9	2	9,27051034	4,635255	12,80327		
Coluna 10	2	10,33502019	5,16751	17,12947		
Coluna 11	2	7,499921142	3,749961	2,896117		
Coluna 12	2	3,796256474	1,898128	0,260679		
ANOVA						
te da varia	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítica
Linhas	30,53503	1	30,53503	10,79396	0,007264	4,844336
Colunas	24,90354	11	2,263958	0,800296	0,640866	2,81793
Erro	31,11789	11	2,828899			
Total	86,55646	23				

Fonte: Autor.

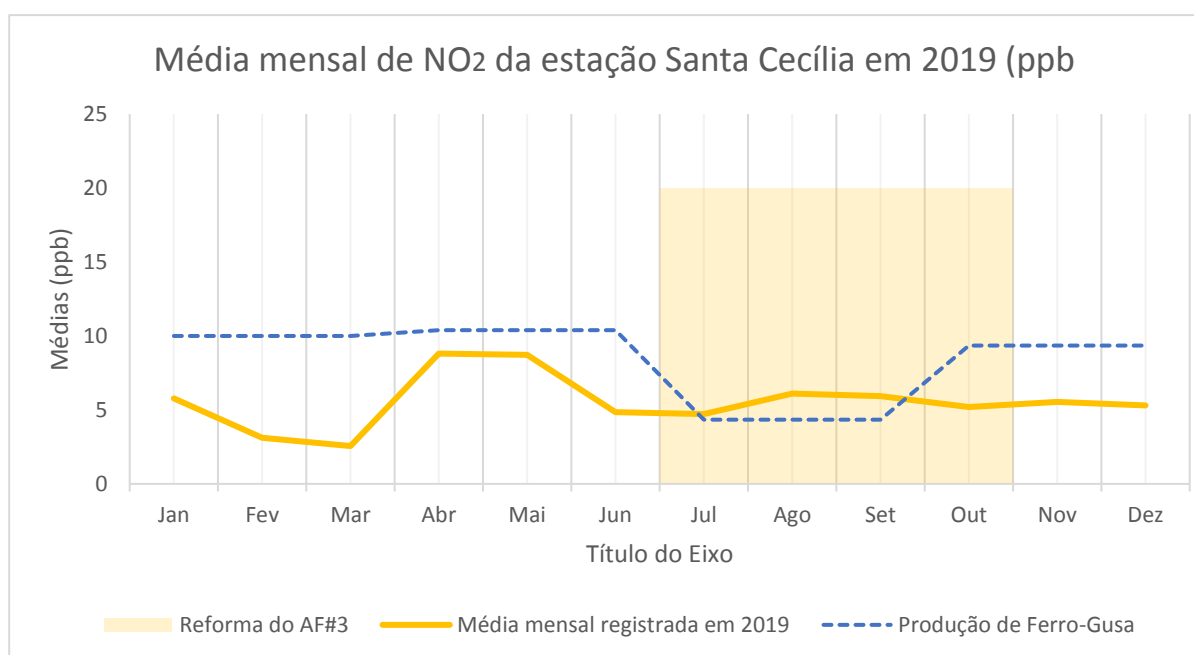
Figura 24: Médias mensais de SO₂ da estação Santa Cecília em 2019.

Fonte: Autor.

Tabela 23: ANOVA #1 de NO₂ da estação Santa Cecília.

Anova#1: NO2 estação Santa Cecília						
RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância		
Linha 1	12	129,2247846	10,76873	15,9239		
Linha 2	12	66,60342426	5,550285	3,400443		
Coluna 1	2	16,15203592	8,076018	10,45176		
Coluna 2	2	11,10927278	5,554636	11,92836		
Coluna 3	2	11,62133345	5,810667	21,15365		
Coluna 4	2	17,2174437	8,608722	0,079218		
Coluna 5	2	16,83368022	8,41684	0,178276		
Coluna 6	2	10,98969048	5,494845	0,858456		
Coluna 7	2	10,88830645	5,444153	1,024873		
Coluna 8	2	18,02884825	9,014424	16,9935		
Coluna 9	2	17,15007368	8,575037	13,97111		
Coluna 10	2	19,89744906	9,948725	45,393		
Coluna 11	2	23,30992599	11,65496	74,90434		
Coluna 12	2	22,63014893	11,31507	72,36116		
ANOVA						
te da varia	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	163,3931	1	163,3931	16,97117	0,001702	4,844336
Colunas	106,6632	11	9,696658	1,007164	0,495384	2,81793
Erro	105,9046	11	9,627689			
Total	375,9609	23				

Fonte: Autor.

Figura 25: Médias mensais de NO₂ da estação Santa Cecília em 2019.

Fonte: Autor.

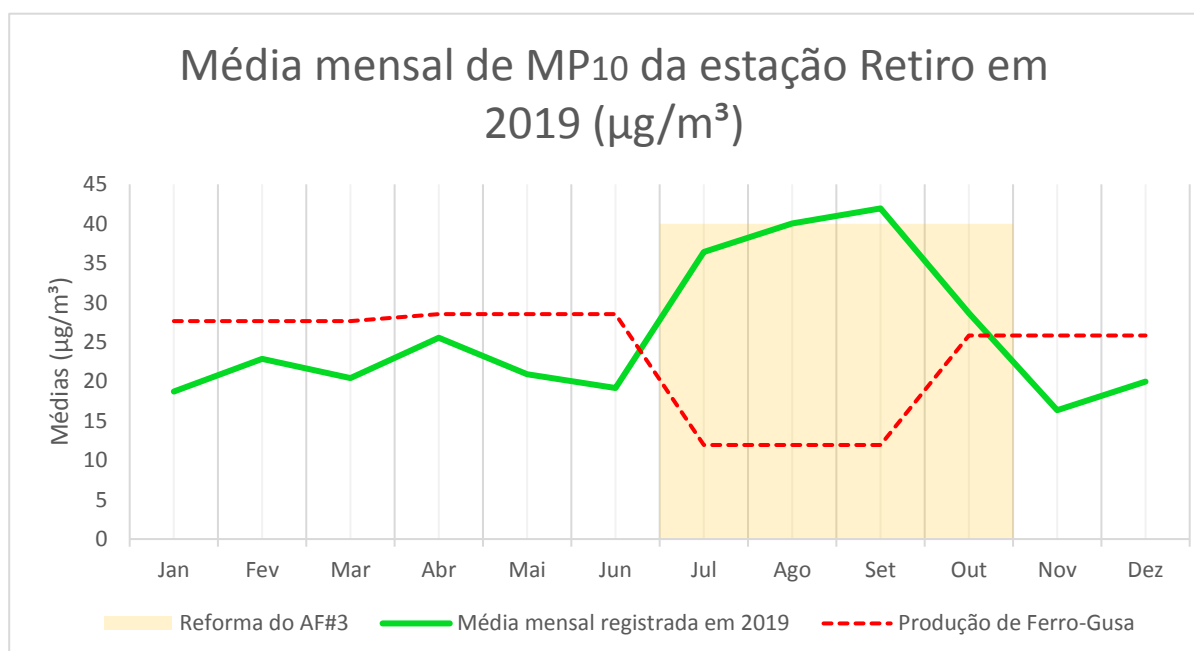
7.2 Apêndice B

Tabela 24: ANOVA #2 de MP₁₀ da estação Retiro.

Anova#2: MP10 estação Retiro						
RESUMO						
Contagem	Soma	Média	Variância			
Linha 1	4	82,05777489	20,5144	9,21355		
Linha 2	4	147,0621826	36,7655	34,4234		
Coluna 1	2	58,66898608	29,3345	100,1		
Coluna 2	2	60,22306067	30,1115	197,278		
Coluna 3	2	65,17908231	32,5895	174,981		
Coluna 4	2	45,04882846	22,5244	75,4545		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítica
Linhas	528,197	1	528,197	80,7772	0,00291	10,128
Colunas	111,294	3	37,098	5,6734	0,09392	9,27663
Erro	19,6168	3	6,53893			
Total	659,107	7				

Fonte: Autor.

Figura 26: Médias mensais de MP₁₀ da estação Retiro em 2019.

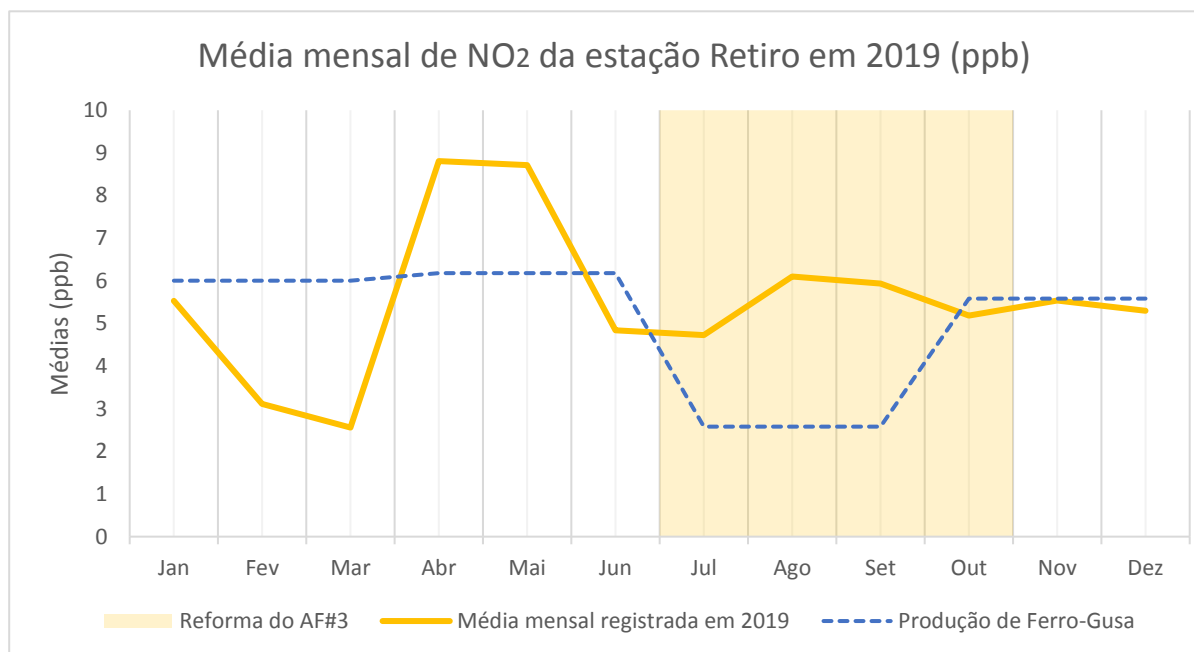


Fonte: Autor.

Tabela 25: ANOVA #2 de NO₂ da estação Retiro.

Anova#2: NO2 estação Retiro						
RESUMO						
	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Linha 1	4	7,817905384	1,95448	0,56135		
Linha 2	4	21,94446885	5,48612	0,41341		
Coluna 1	2	7,654208165	3,8271	1,62433		
Coluna 2	2	8,234156969	4,11708	7,86003		
Coluna 3	2	7,160981175	3,58049	11,0593		
Coluna 4	2	6,71302792	3,35651	6,68409		
ANOVA						
<i>te da varia</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	24,945	1	24,945	32,7816	0,01057	10,128
Colunas	0,64145	3	0,21382	0,28099	0,83756	9,27663
Erro	2,28283	3	0,76094			
Total	27,8693	7				

Fonte: Autor.

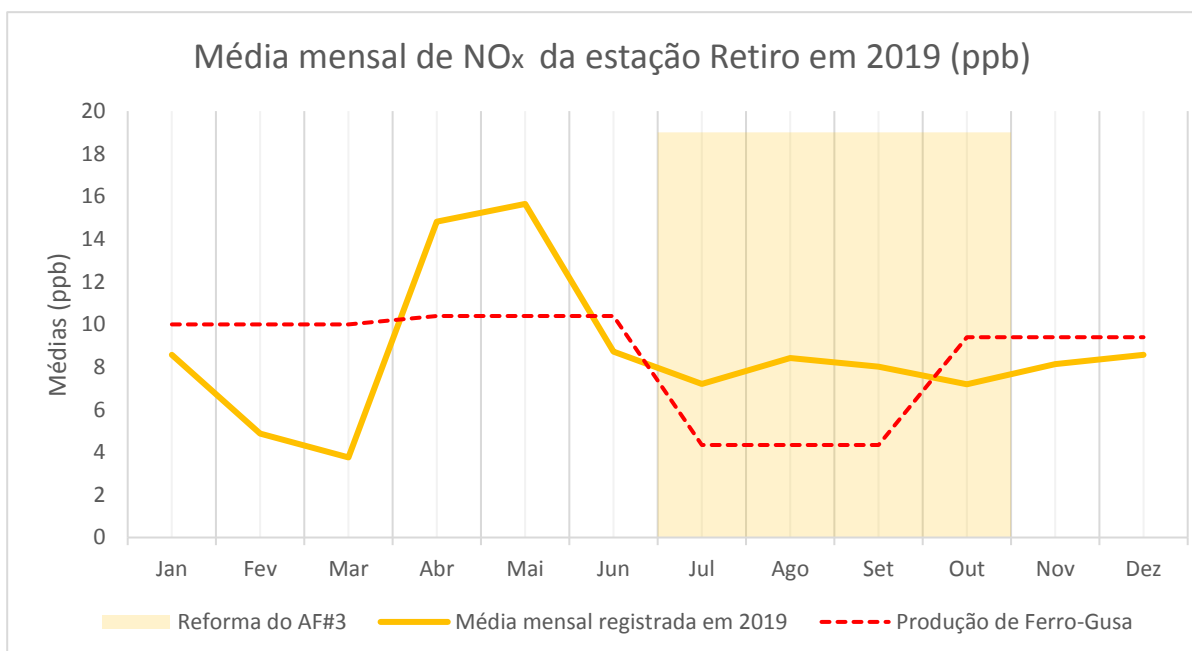
Figura 27: Médias mensais de NO₂ da estação Retiro em 2019.

Fonte: Autor.

Tabela 26: ANOVA #2 de NO_x da estação Retiro.

Anova#2: NOX estação Retiro						
RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância		
Linha 1	4	16,84864307	4,21216	1,1943		
Linha 2	4	30,81438236	7,7036	0,37828		
Coluna 1	2	12,93391721	6,46696	1,07516		
Coluna 2	2	12,46830457	6,23415	9,55422		
Coluna 3	2	11,14692211	5,57346	11,9028		
Coluna 4	2	11,11388155	5,55694	5,27776		
ANOVA						
te da varia	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	24,3802	1	24,3802	21,3257	0,01911	10,128
Colunas	1,28804	3	0,42935	0,37555	0,77874	9,27663
Erro	3,4297	3	1,14323			
Total	29,098	7				

Fonte: Autor.

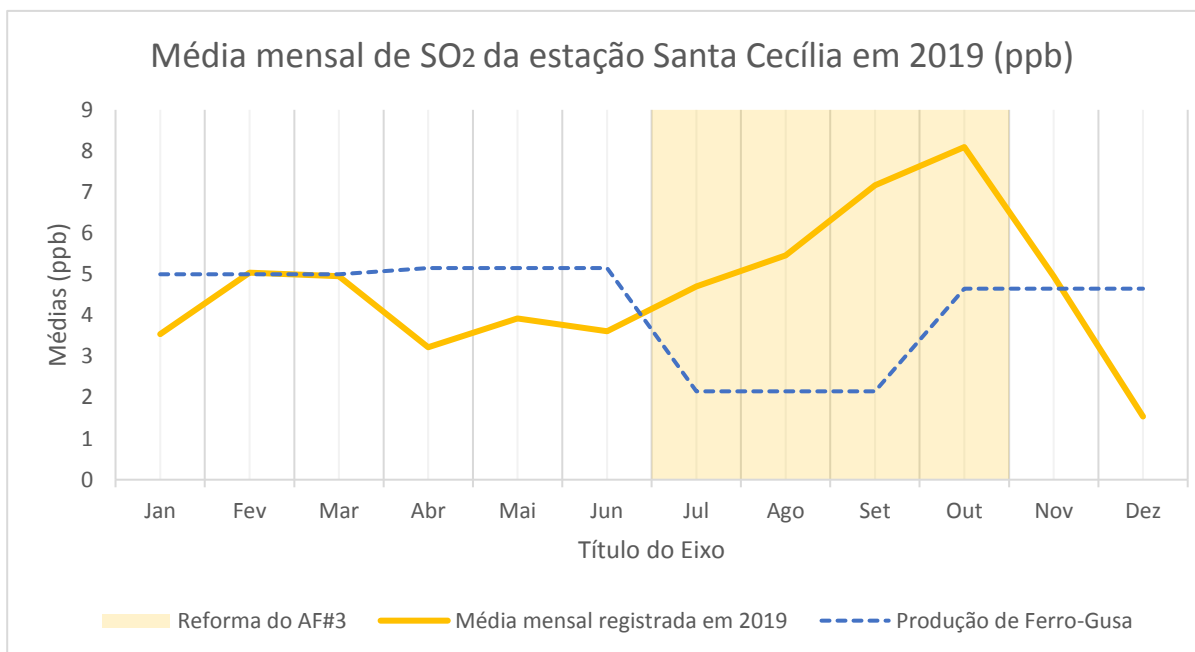
Figura 28: Médias Mensais de NO_x da estação Retiro em 2019.

Fonte: Autor.

Tabela 27: ANOVA #2 de SO₂ da estação Santa Cecília.

Anova#2: SO2 estação Santa Cecília						
RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância		
Linha 1	4	6,82137195	1,705343	0,339676		
Linha 2	4	25,4261871	6,356547	2,400709		
Coluna 1	2	5,682583804	2,841292	6,94393		
Coluna 2	2	6,959444712	3,479722	7,859702		
Coluna 3	2	9,27051034	4,635255	12,80327		
Coluna 4	2	10,33502019	5,16751	17,12947		
ANOVA						
te da varia	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	43,26739	1	43,26739	88,36263	0,002551	10,12796
Colunas	6,752184	3	2,250728	4,596539	0,121115	9,276628
Erro	1,468971	3	0,489657			
Total	51,48855	7				

Fonte: Autor.

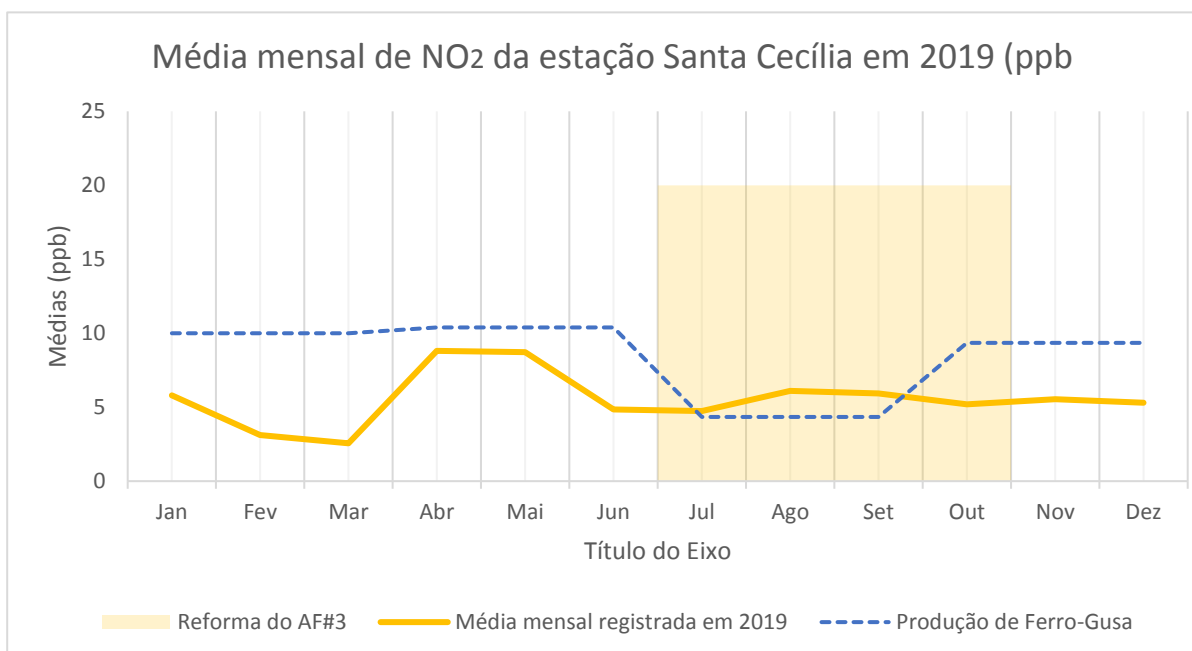
Figura 29: Médias mensais de SO₂ da estação Santa Cecília em 2019.

Fonte: Autor.

Tabela 28: ANOVA #2 de NO₂ da estação Santa Cecília.

Anova#2: NO2 estação Santa Cecília						
RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância		
Linha 1	4	44,02020859	11,00505	12,70722		
Linha 2	4	21,94446885	5,486117	0,413412		
Coluna 1	2	10,88830645	5,444153	1,024873		
Coluna 2	2	18,02884825	9,014424	16,9935		
Coluna 3	2	17,15007368	8,575037	13,97111		
Coluna 4	2	19,89744906	9,948725	45,393		
ANOVA						
te da varia	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	60,91729	1	60,91729	11,09928	0,044667	10,12796
Colunas	22,89671	3	7,632238	1,390613	0,396445	9,276628
Erro	16,4652	3	5,488399			
Total	100,2792	7				

Fonte: Autor.

Figura 30: Médias mensais de NO₂ da estação Santa Cecília em 2019.

Fonte: Autor.