

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

BRUNA GONÇALVES DA SILVA

**ANÁLISE DE COMBUSTÍVEL UTILIZADO EM UMA EMPRESA DE
REVESTIMENTO CERÂMICO E SUA INTERFERÊNCIA NA QUALIDADE DO AR E
NO PRODUTO FINAL**

**CRICIÚMA
2021**

BRUNA GONÇALVES DA SILVA

**ANÁLISE DE COMBUSTÍVEL UTILIZADO EM UMA EMPRESA DE
REVESTIMENTO CERÂMICO E SUA INTERFERÊNCIA NA QUALIDADE DO AR E
NO PRODUTO FINAL**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de bacharel Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador(a): Prof. (ª) Msc. Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffman

CRICIÚMA

2021

BRUNA GONÇALVES DA SILVA

**ANÁLISE DE COMBUSTÍVEL UTILIZADO EM UMA EMPRESA DE
REVESTIMENTO CERÂMICO E SUA INTERFERÊNCIA NA QUALIDADE DO AR E
NO PRODUTO FINAL**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheira Ambiental e Sanitarista, no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Controle de Qualidade do Ar

Criciúma, 24 de novembro de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffman - Mestre - (UNESC) - Orientador

Prof. Paula Tramontim Pavei - Mestre - (UNESC)

Prof. Maykon Cargnin – Doutor – (UNESC)

Dedico este trabalho aos meus pais, José Henrique da Silva e Terezinha Maria Gonçalves da Silva por todo apoio que me deram e os esforços que fizeram para me ajudar a alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Primeiro lugar agradeço a Deus por todas as oportunidades que ele me deu, e esta foi a maior e melhor que ele poderia ter me oferecido até o momento.

Agradeço também aos meus pais, José Henrique da Silva e Terezinha Maria Gonçalves da Silva, pelo apoio e incentivo para que eu seguisse meus sonhos, e que fizeram de tudo por mim.

Aos meus irmãos, especialmente as minhas irmãs, Andressa e Vanessa por serem minha inspiração, porque sem elas eu não teria seguido até o final da faculdade.

Ao meu namorado Igor por estar comigo, não me cobrando por atenção (porque meus esforços estavam todos concentrados no TCC) me ajudando nesta etapa final, e não medindo esforços para me ajudar a concluir este trabalho.

As minhas amigas Emily, Jeniffer e Laura que estiveram comigo nesses cinco anos, sempre nos apoiando mutuamente.

A prof. Marta, minha orientadora, por estar à disposição para me orientar nesta última fase sempre que precisei e por ter aceitado este desafio comigo.

Aos meus professores que me passaram todo o conhecimento que obtive no período da faculdade.

Aos meus chefes e supervisores de estágio, que me deram a oportunidade de colocar toda a teoria da universidade em prática.

A minha psicóloga Andreia que me ajudou na reta final a não surtar.

E não menos importante, a mim mesma, por não ter surtado, não ter desistido em todos os momentos difíceis, por ter resistido as noites mal dormidas, dias corridos entre estágios, aulas, provas e trabalhos.

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas uma outra alma humana.”

Jung Carl

RESUMO

A cerâmica nasceu no período mesolítico aproximadamente 5 a 10 mil anos atrás sendo que hoje o Brasil é um dos maiores produtores, exportadores e consumidores de revestimento cerâmico do mundo. No seu processo produtivo as indústrias cerâmicas necessitam gerar calor para remover a água da barbotina utilizando combustíveis fósseis para este fim e com isto acabam gerando efluentes gasosos na qual precisa de tratamento antes da emissão na atmosfera. Atualmente a principal fonte de poluição atmosférica é a queima de combustíveis fósseis. O objetivo do presente trabalho é avaliar as características dos combustíveis utilizados na indústria de revestimento cerâmico e sua interferência na qualidade do ar e no do produto final. Para atingir o objetivo do trabalho a metodologia consistiu em realizar o levantamento histórico de resultados do monitoramento das emissões atmosféricas, que a empresa realizou nos anos de 2013 a 2020, avaliou-se as características dos combustíveis utilizados e relacionou suas emissões atmosféricas com a qualidade do produto final, para isso, levantou-se dados de defeitos nas peças cerâmicas ocorridos no período de um ano. Houve também a quantificação dos poluentes emitidos no ano em estudo assim como avaliou-se se os equipamentos de controle de poluição atmosférica estavam atendendo a legislação vigente. Dos estudos realizados verificou-se que a empresa não apresentou resultados fora do padrão exigido pelas legislações vigentes. Que suas emissões tem um padrão de lançamento para todos os poluentes, sendo emissão de SO_2 uma média de 111,81 mg/Nm^3 para as três linhas, $\text{SO}_3+\text{H}_2\text{SO}_4$ uma média de 13,53 mg/Nm^3 para as três linhas, SO_x uma média de 142,29 mg/Nm^3 para as três linhas, NO_x uma média de 140,15 mg/Nm^3 para as três linhas e NO_2 uma média de 21 mg/Nm^3 para as três linhas. Com relação a interferência do combustível com a qualidade do revestimento cerâmico, verificou-se que houve um aumento no número de defeitos no setor da "Massa" para as Linhas 1 e 2 após a troca de combustível, sendo a contaminação da massa o defeito de maior volume e frequência, ocorrendo um pico de defeitos no mês de janeiro para a Linha 1. Para a Linha 3 onde não houve troca de combustível também se observou o aumento no número de defeitos, sendo que o defeito mais corriqueiro era nas retificas no ano de 2020 e no ano de 2021 passou a ser contaminação da massa. Com o estudo também foi possível averiguar que os lavadores de gases estão atendendo a demanda para emissões atmosféricas e sua eficiência está dentro do esperado.

Palavras-chave: Qualidade do ar. Emissões atmosféricas. Defeitos cerâmicos. Combustíveis fósseis. Carvão. Coque verde de petróleo. Cavaco. Gás natural.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma esquemática de produção de revestimento cerâmico por via úmida x via seca.....	21
Figura 2 - Placa cerâmica com coração negro	31
Figura 3 – Ciclone.	57
Figura 4 – Filtro manga	59
Figura 5 – Lavador de gases.....	62
Figura 6 – Processo produtivo da pesagem até os silos	65
Figura 7 – Processo produtivo da prensa até a queima	66
Figura 8 – Processo produtivo de acabamento	67
Figura 9 – Variação de temperatura x camadas da atmosfera.....	69
Figura 10 – Emissão de MP (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 1	80
Figura 11 – Emissão de SO _x (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 1	81
Figura 12 – Emissão de SO ₃ +H ₂ SO ₄ (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 1	81
Figura 13 – Emissão de NO _x (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 1	82
Figura 14 – Emissão de MP (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 2.....	83
Figura 15 – Emissão de SO _x (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 2	84
Figura 16 – Emissão de SO ₃ +H ₂ SO ₄ (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 2	84
Figura 17 – Emissão de NO _x (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 2.....	85
Figura 18 – Emissão de MP (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 3.....	86
Figura 19 – Emissão de SO _x (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 3	86
Figura 20 – Emissão de SO ₃ +H ₂ SO ₄ (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 3	87
Figura 21 – Emissão de NO _x (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 3.....	87
Figura 22 – Defeitos no produto final por setor na Linha 1, ano de 2020 em percentual.....	90
Figura 23 - Defeitos no produto final por setor na Linha 1, ano de 2021 percentual .	90
Figura 24 – Defeito no produto no setor de “Massa” Linha 1 nos anos de 2020 e 2021 em percentual.....	91
Figura 25 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 1 em 2020 em percentual.....	91
Figura 26 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 1 em 2021 em percentual.....	92
Figura 27 – Contaminação de massa na Linha 1 em percentual	93

Figura 28 – Contaminação de massa na Linha 1 em percentual	93
Figura 29 - Defeitos no produto final por setor na Linha 2, ano de 2020 em percentual.....	94
Figura 30 - Defeitos no produto final por setor na Linha 2, ano de 2021 em percentual.....	94
Figura 31 – Setores que mais apresentam defeitos na Linha 2 em percentual.....	95
Figura 32 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 2 em 2020 em percentual.....	96
Figura 33 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 1 em 2021 em percentual.....	96
Figura 34 – Contaminação da massa na Linha 2 em percentual	97
Figura 35 – Coração negro Linha 2 em percentual	97
Figura 36 - Defeitos no produto final por setor na Linha 3, ano de 2020 em percentual.....	98
Figura 37 - Defeitos no produto final por setor na Linha 3, ano de 2021 em percentual.....	99
Figura 38 – Setores que mais apresentam defeitos na linha 3 em percentual	99
Figura 39 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 3 em 2020 em percentual.....	100
Figura 40 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 3 em 2021 em percentual.....	101
Figura 41 – Contaminação da massa na Linha 3 em percentual	101
Figura 42 – Outros defeitos encontrados na Linha 3 em percentual	102
Figura 43 – Produção mensal junho de 2020 a agosto de 2021 em m ²	104
Figura 44 – Emissão de MP (mg/Nm ³) Lavadores de gases 1, 2 e 3 no ano de 2021	106
Figura 45 – Emissão de SO _x (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 1, 2 e 3 no ano de 2021	107
Figura 46 – Emissão de NO (mg/Nm ³) Lavador de gases Linha 1, 2 e 3 no ano de 2021	107
Figura 47 – Comparação de lançamento de MP (mg/Nm ³) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3	109
Figura 48 – Emissão de SO _x (mg/Nm ³) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3	110

Figura 49 – Emissão de SO ₂ (mg/Nm ³) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3	110
Figura 50 - Trióxido de enxofre (mg/Nm ³) e Ácido sulfúrico (mg/Nm ³) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3.....	111
Figura 51 – Dióxido de nitrogênio (mg/Nm ³) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3	112
Figura 52 – Óxido de nitrogênio (mg/Nm ³) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grupo de absorção de água.....	29
Tabela 2 - Codificação dos grupos de absorção de água em função dos métodos de fabricação.....	29
Tabela 3 – Composição do CVP	38
Tabela 4 – Metais pesados presente no CVP	40
Tabela 5 – Concentração de HPA´s no CVP.....	41
Tabela 6 – Fontes de poluição de nitrogênio	48
Tabela 7 – Fontes de poluição de enxofre	50
Tabela 8 – Tipos de compostos orgânicos CnH.....	52
Tabela 9 – Poluentes orgânicos e suas fontes.....	53
Tabela 10 – Coletores recomendados para a indústria cerâmica	55
Tabela 11 – Poluentes removidos nas torres lavadoras.....	60
Tabela 12 – Características dos equipamentos utilizados para depuração do ar	63
Tabela 13 – Padrão para o lançamento de emissões atmosféricas tendo como combustível carvão mineral, xisto sólido, coque e outros combustíveis assemelhados.	72
Tabela 14 – Legislações ambientais de poluição atmosférica vigentes no país.	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Materiais e tecidos usados em filtros industriais	58
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CCB - Centro Cerâmico do Brasil

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

COV - Compostos Orgânicos Voláteis

CVP - Coque Verde de Petróleo

EUA - Estudos Unidos da América

GNL - Gás Natural Liquefeito

H₂S - Sulfeto de hidrogênio

H₂SO₄ - Ácido sulfúrico

H₂SO₃ - Ácido sulfuroso

HNO₃ - Ácido nítrico

HNO₄ - Ácido peroxinítrico

HPA - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

µm - Micrometro

MP - Material Particulado

N₂ - Nitrogênio

N₂O - Óxido nitroso

N₂O₅ - Pentóxido de dinitrogênio

NH₃ - Amoníaco

NO₃ - Trióxido de Nitrogênio

NO - Monóxido de Nitrogênio

NO_x - Óxidos de Nitrogênio

UCR - Unidade de Coqueamento Retardado

PAN - Nitrato de peroxiacetila

PPM - Parte por milhão

PTS - Partículas totais em Suspensão

PVC - Policloreto De Vinila

SO_x - Óxidos de Enxofre

SO₂ - Dióxido de Enxofre

SO₃ - Trióxido de Enxofre

SO₂ - Dióxido de Enxofre

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 INDÚSTRIA DE REVESTIMENTO CERÂMICO.....	19
2.1.1 Características da produção do revestimento cerâmico	19
2.2 PROCESSO PRODUTIVO	22
2.2.1 DOSAGEM	22
2.2.2 MOAGEM	22
2.2.3 ATOMIZAÇÃO	23
2.2.4 PRENSAGEM	24
2.2.5 SECAGEM	25
2.2.6 ESMALTAGEM	25
2.2.7 QUEIMA	25
2.2.8 ACABAMENTO FINAL	26
2.2.8.1 Polimento	26
2.2.8.2 Retificação.....	26
2.2.8.3 Classificação/Paletização.....	27
2.3 QUALIDADE DO REVESTIMENTO CERÂMICO.....	27
2.4 DEFEITOS	29
3 COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS PELA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTO CERÂMICO E A POLUÇÃO ATMOSFÉRICA	33
3.1 CARVÃO	33
3.2 COQUE VERDE DE PETRÓLEO	37
3.3 GÁS NATURAL	42
3.4 CAVACO	44
3.5 PRINCIPAIS POLUENTES GERADOS DURANTE A QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS	46
3.5.1 Óxidos de carbono	47
3.5.2 Óxidos de nitrogênio e ácidos nítricos	47
3.5.3 Dióxido de enxofre e ácido sulfúrico	49
3.5.4 Material particulado - MP	50
3.5.5 Compostos orgânicos voláteis (COV's)	51
3.6 EQUIPAMENTOS DE TRATAMENTOS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	53

3.6.1 Controle de material particulado	56
3.6.1.1 Ciclones.....	56
3.6.1.2 Filtros de saco ou tecido ou manga.....	57
3.6.1.3 Lavadores.....	59
3.6.2 Controle de poluentes gasosos	61
3.6.2.1 Absorvedores	61
4 ÁREA DE ESTUDO	65
5 QUALIDADE DO AR	67
6 LEGISLAÇÃO DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA VIGENTE	71
7 METODOLOGIA	74
7.1 PESQUISA EM REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS SOBRE O TEMA	75
7.2 ANÁLISE O HISTÓRICO DE MONITORAMENTO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS E RELAÇÃO COM OS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS	75
7.3 AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO TIPO DE COMBUSTÍVEL NO PRODUTO FINAL	76
7.4 QUANTIFICAÇÃO DOS POLUENTES GERADOS ATRAVÉS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.....	76
7.5 AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTOS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EXISTENTES.....	77
8 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	79
8.1 HISTÓRICO DE MONITORAMENTO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS E RELAÇÃO COM OS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS.....	79
8.1.1 Emissões atmosférica do lavador de gases Linha 1	79
8.1.2 Emissões atmosférica da Lavador de gases Linha 2.....	82
8.1.3 Emissões atmosférica do Lavador de gases Linha 3.....	85
8.1.4 Dos resultados	88
8.2 INTERFERÊNCIA DO TIPO DE COMBUSTÍVEL NO PRODUTO FINAL	89
8.2.1 Levantamento dos dados de qualidade do revestimento cerâmico da Linha 1.....	89
8.2.2 Levantamento dos dados de qualidade do revestimento cerâmico da Linha 2.....	93
8.2.3 Levantamento dos dados de qualidade do revestimento cerâmico da Linha 3.....	98
8.2.4 Dos resultados	102

8.3 QUANTIFICAÇÃO DOS POLUENTES GERADOS ATRAVÉS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	105
8.4 O SISTEMA DE TRATAMENTO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EXISTENTES.....	108
9 CONCLUSÃO	114
REFERÊNCIAS.....	117

1 INTRODUÇÃO

A cerâmica nasceu no período mesolítico, aproximadamente 5 a 10 mil anos atrás. O homem primitivo usava suas mãos para misturar, ajustar e decorar os artigos confeccionados a partir da argila (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

Antes da chegada dos europeus no Brasil em 1500 já se possuía o hábito de produzir cerâmica pela arte indígena e hoje o Brasil é um dos maiores produtores, exportadores e consumidores de revestimento cerâmico do mundo (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

A indústria de revestimento cerâmico consiste na produção de placas cerâmicas dentre elas o porcelanato. Para se produzir o mesmo se mistura algumas matérias primas, tendo a argila como o principal produto, posteriormente a sua mistura se tem a conformação dos grãos moídos, a sua secagem, queima, polimento, correção da sua ortogonalidade e posterior embalamento para comercialização.

As indústrias cerâmicas que têm como sistema de moagem via úmida, necessitam gerar calor para remover a água da sua matéria prima, denominada de barbotina, e se utilizam de combustíveis fósseis para geração deste calor, desta forma acabam gerando efluentes gasosos na qual necessitam de tratamento antes da sua emissão na atmosfera.

De acordo com Miller e Spoolman (2016), a principal fonte de poluição atmosférica é a queima de combustíveis fósseis, tendo origem nas usinas, instalações industriais e veículos automotores.

Para Hoffmann, Pavei (2016), quando os poluentes estão em concentrações significativa podem alterar de forma nociva a composição do ar e os mesmos são capazes de produzir um efeito tóxico sobre o homem, animais, plantas e nos materiais.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021a), sete milhões de pessoas morrem todo ano devido a poluição atmosférica, nove a cada dez pessoas respiram ar com níveis elevados de poluentes. “Cerca de 91% da população mundial vive em locais onde os níveis de qualidade do ar excedem os limites da OMS” (OMS, 2021b). Os países de baixa renda e média renda tem a maior exposição a esses poluentes (OMS, 2021a).

Durante o processo de obtenção de revestimento cerâmico a queima dos combustíveis fósseis, a citar carvão mineral e coque verde de petróleo (CVP), geram efluentes gasosos na fornalha na qual acaba entrando em contato direto com a matéria prima no atomizador, podendo assim gerar uma contaminação na massa durante o processo de produção, sendo capaz de originar os defeitos na placa cerâmica.

Visando a qualidade dos revestimentos cerâmicos junto a ISO 9001, na qual a indústria possui a certificação, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar as características dos combustíveis utilizados na indústria de revestimento cerâmico e sua interferência na qualidade do ar e no produto final. Para atingir o objetivo geral se traçou os seguintes objetivos específicos: analisar o histórico de monitoramento das emissões atmosféricas e sua relação com os combustíveis utilizados; avaliar a interferência do tipo de combustível no produto final; quantificar os poluentes emitidos no ano de 2021 e avaliar o sistema de tratamento das emissões atmosféricas existente e propor melhorias, caso necessário.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INDÚSTRIA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

O surgimento da indústria de revestimentos cerâmicos no Brasil iniciou-se nas antigas fábricas de tijolos, blocos e telhas de cerâmica vermelha, começando a produzir ladrilhos hidráulicos e posteriormente, azulejos e pastilhas cerâmicas e de vidro, no início do século XX (GORINI, CORREA, 1999).

Segundo ANFACER (2021) o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de revestimento cerâmicos, o segundo maior consumidor mundial e o sétimo maior exportador. Hoje a indústria de revestimento cerâmico representa 6% do PIB da indústria de materiais de construção com 60 empresas, 71 unidades fabris e 137 marcas, gerando 28 mil empregos diretos e 200 mil empregos indiretos.

O crescimento da indústria cerâmica no Brasil se deu pelos baixos custos de produção, disponibilidade de matéria prima e energia, expansão do mercado consumidor doméstico, refletindo significativamente na sua alta produtividade (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2010).

O polo industrial de revestimento cerâmico de São Paulo apresenta o maior volume de produção, e o polo industrial de Santa Catarina tem o maior volume de exportação (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

Após a crise do setor carbonífero, a região do Sul Catarinense passou a ter como principal atividade econômico a indústria cerâmica, sendo a mesma reconhecida internacionalmente por reunir algumas das principais empresas deste setor (COLONETTI, 2016).

A zona industrial de Criciúma aproveita a posição de influência nacional em qualidade e marcas, conduzindo as exportações em termos de valores comercializados (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2010).

2.1.1 Características da produção do revestimento cerâmico

Através de várias combinações de matéria-prima e processos podem ser produzidos vários tipos de placas cerâmicas. As técnicas de moagem da matéria prima e preparação da massa é um elemento importante no processo de produção

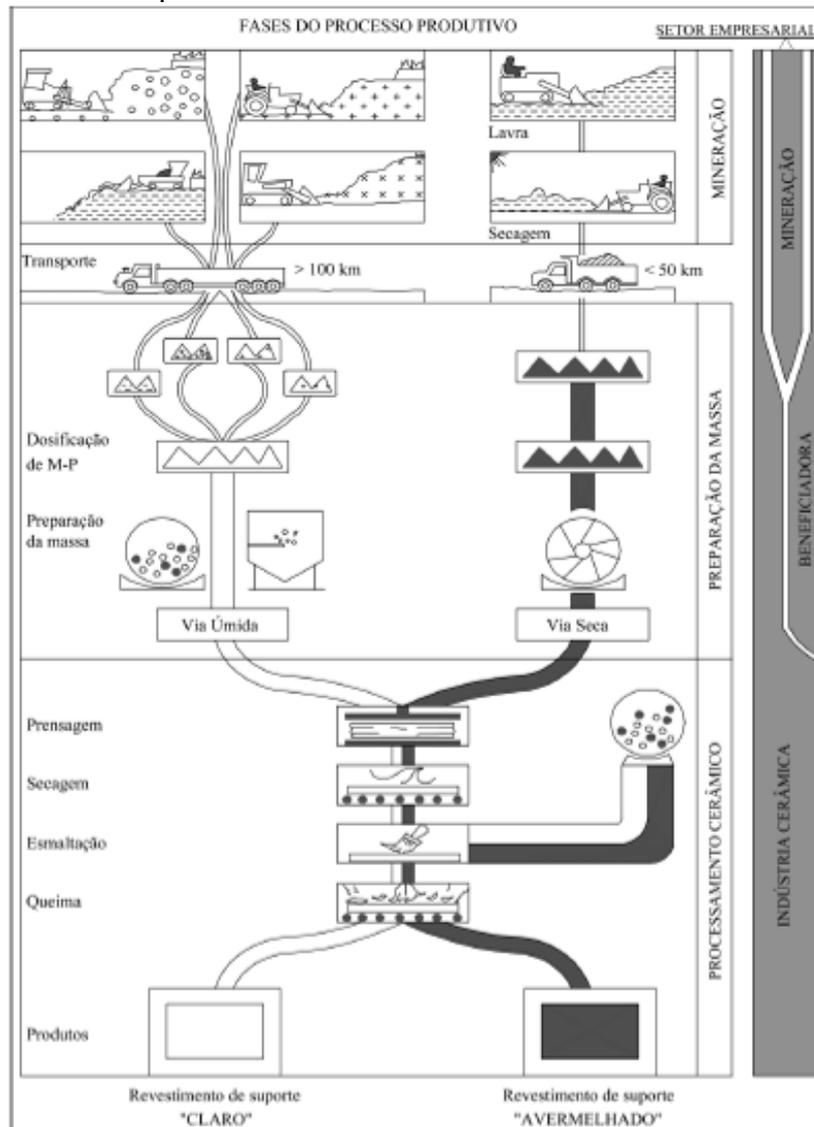
do produto cerâmico. Se destacam o de via úmida e o de via seca (MOTTA, ZANARDO, CABRAL JUNIOR 2001).

Segundo Cabral Junior *et al.* (2010), Motta, Zanardo e Cabral Junior (2001) e Gorini Correa (1999) a produção dos revestimentos cerâmicos por via úmida é de preferência de base clara, com a composição da massa composta de misturas de matérias-primas minerais (argilas, caulim, filito, rochas feldspáticas, talco, carbonatos, quartzo, entre outras), ou artificiais, que reúne materiais fundentes, inertes e formadores de vidro. As mesmas são moídas e homogeneizadas nos moinhos de bola em meio aquoso, seca e granulada em spray dryer (atomizador) e prensada a seco para posterior secagem e queima.

No processo de produção de cerâmica por via seca, emprega-se uma massa simples ou natural (EMILIANI, CORBARA 1999 apud MOTTA, ZANARDO E CABRAL JUNIOR 2001; CABRAL JUNIOR *ET AL.* 2010), onde as argilas de queima avermelhada contendo umidade inferior a 5% são fragmentadas em moinhos de martelo ou pendulares, relativamente umidificados e conduzidos ao processamento cerâmico (prensagem a seco, secagem, decoração e queima) (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2010; MOTTA, ZANARDO E CABRAL JUNIOR, 2001; GORINI, CORREA, 1999).

A Figura 1 representa a diferença na produção de cerâmica para revestimentos entre via úmida e via seca.

Figura 1 – Fluxograma esquemática de produção de revestimento cerâmico por via úmida x via seca



Fonte: BARBA ET AL. 1997 apud MOTTA, ZANARDO E CABRAL JUNIOR, 2001

Para determinar qual tipo de tecnologia usar deve-se analisar a matéria-prima utilizada (MARONCELLI, TIMELLINI, EVANGELISTI, 1985 apud OLIVEIRA, HOTZA, 2015), é obrigatório o uso do processo a úmido quando as matérias primas têm características físicas muito diferentes, pois as mesmas devem ser moídas e homogeneamente misturadas (OLIVEIRA, HOTZA, 2015). Um exemplo são as massas de queima branca para se produzir gres porcelanato. Mas no Brasil ela tem um sentido regional histórico. A moagem a úmido é dominante em Santa Catarina, e no interior de São Paulo é dominante o processo a seco (OLIVEIRA, HOTZA 2015).

Segundo os mesmos autores, para o processo de moagem ele pode ser tanto contínuo como descontínuo. Por razões econômicas no Brasil se utiliza mais o

processo descontínuo, os moinhos contínuos só são utilizados em novas instalações e com grande produção.

Na moagem descontínua ocorre em cilindros com o corpo da moagem em sílica ou alumina onde a matéria-prima é devidamente dosada dentro do moinho juntamente com a quantidade de água especificada. Já a moagem contínua ocorre em cilindros, com o corpo da moagem também em sílica ou alumina, podendo ser subdivididos em duas ou três câmaras de moagem. A moagem acontece com a mistura de matéria-prima ou com a carga da mesma introduzida no moinho por sistemas de alimentação (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

2.2 PROCESSO PRODUTIVO

2.2.1 Dosagem

A dosagem é a primeira operação de fabricação do revestimento cerâmico. Ela consiste na determinação das matérias primas que elaboram a composição de uma massa formulada. Por traz da dosagem há equipamentos e instalações de níveis diferentes de automação (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

2.2.2 Moagem

A próxima etapa é a moagem. Quando se trata de moagens do tipo intermitente para se dosar as matérias primas, pode-se utilizar sistema de acionamento mecânico tradicionais ou sistemas sofisticados que englobam caixas de pesagem (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

Já nos processos de moagem contínua ocorre um sistema de pesagem continua sobre esteiras controladas por sensores. A matéria prima é estocada temporariamente em silo de pré-carga e posteriormente adicionadas nos moinhos (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

Como já relatado anteriormente sobre as características do processo de fabricação do revestimento cerâmico, no estado de Santa Catarina predominantemente se utiliza o processo de via úmida, e ainda se tem a obrigatoriedade deste processo por conta das características físicas dos diferentes

tipos de matérias primas utilizadas na fabricação do porcelanato (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

Este processo de moagem é responsável por reduzir o tamanho da partícula, misturando as mesmas com a água originando a barbotina (OLIVEIRA, MAGANHA, 2006).

Segundo Bristot (1996) os moinhos de bolas são amplamente empregados para modificar a distribuição granulométrica, dispersar aglomerados, agregados e alterar o formato da partícula.

O mesmo autor ainda discorre que os moinhos de bolas se resumem a um recipiente cilíndrico na qual o seu interior possui bolas de material duro de distintos tamanhos. Com o movimento de rotação, as bolas movem-se no seu interior ocasionando a moagem do material por choque e roçamento.

2.2.3 Atomização

A atomização é o próximo passo para a fabricação do revestimento cerâmico, na qual consiste em remoção da água inclusa na barbotina por evaporação de maneira contida (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

Para Oliveira, Maganha (2006), a barbotina é encaminhada para o atomizador por tubulações, que tem formato cilíndrico, com bicos pulverizadores no seu interior onde borrifam as gotas de barbotina. Assim o spray da solução se mistura com o ar quente (por volta de 700°C), oriundo da queima de combustíveis fósseis.

A retirada da água não é total, já que ela necessita de uma quantidade de água residual para que os grânulos formados na etapa posterior (prensagem) tenham plasticidade adequada para a compactação. Essa água residual pode variar de 4 a 8% por conta das características da matéria prima (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

Segundo os mesmos autores a retirada da água é feita com a injeção da barbotina, normalmente de baixo para cima por bombas de elevada pressão (25 a 30 bar).

Após a eliminação da água, os grãos precipitam dinamicamente, seguindo até o transportador (usualmente por uma correia), na qual transportará a massa atomizada ainda quente até os silos de repouso (BRISTOT, 1996).

As partículas da massa atomizada (pó) e o vapor que estão em suspensão no interior do atomizador são tirados via exaustão passando por processos de filtragem (ciclones de auto rendimento, recuperadores de massa atomizadas), sendo que os gases, vapores e resíduos de filtragem vão para a atmosfera por chaminé (BRISTOT, 1996).

Posteriormente o pó formado é levado para silos de estocagem através de esteiras, onde permanecem em repouso por dois dias para a homogeneização e estabilização da umidade (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

2.2.4 Prensagem

Para Oliveira, Maganha (2006) a prensagem é a conformação de massas granuladas com baixo teor de umidade, através de uma prensa, sendo utilizada primordialmente na fabricação de pisos e revestimentos, apesar de não se restringir só a esta aplicação.

Fora os aspectos referentes à pressão de compactação, é essencial que os pós atomizados completem uniformemente as cavidades da matriz, pois os carregamentos indevidos acarretam em problemas de geometria nas placas cerâmicas obtidas, podendo ter falhas de ortogonalidade e/ou dimensão (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

Para Bristot (1996), na prensagem há a realização de três operações simultâneas sendo elas a conformação da massa, para se determinar a geometria (dimensões definidas), a compactação da massa, na qual se dá o aspecto para resistir a todos os esforços mecânicos do processo e a redução de vazios, na qual seria a limitação dos vários existentes entre as partículas da massa.

2.2.5 Secagem

As peças após saírem da prensa ainda apresentam uma grande quantidade de água, que é oriunda da preparação da massa. Assim para evitar tensões e defeitos como trincas, bolhas, empenamento, etc, se faz necessário a retirada da umidade residual da peça, chegando até 1,5% a 0,8% (umidade residual) (OLIVEIRA, MAGANHA 2006).

A secagem é responsável por eliminar a umidade residual do pó compactado. As peças são transportadas das prensas para o secador por rolos moveis (OLIVEIRA, HOTZA, 2015).

O calor da secagem é provido por queimadores a gás natural, atingindo até 170°C (OLIVEIRA, MAGANHA, 2006).

2.2.6 Esmaltagem

Depois da secagem, grande parte dos produtos recebe um revestimento fino e contínuo de esmalte ou vidrado, que após a queima obtém uma aparência vítrea. Tal camada colabora para uma aparência estética, higiênica e a melhoria de propriedades físicas, como a resistência mecânica e elétrica (OLIVEIRA, MAGANHA 2006).

2.2.7 Queima

É na queima que ocorre a modificação essencial na propriedade da massa cerâmica originando um material duro e resistente, sendo esta a etapa mais importante de todo desenvolvimento de fabricação (BRISTOT, 1996).

Na realização da queima as peças conquistam suas propriedades finais, tendo um papel importante na fabricação dos produtos cerâmicos. As propriedades finais da peça dependem da eficiência desta fase, sendo elas: brilho, cor, porosidade, estabilidade dimensional, resistência a flexão, ao gretamento, a altas temperaturas, à água, ao ataque de agentes químicos, entre outros. Por conta disso,

é de extrema importância que o projeto e a instalação correta dos fornos estejam adequados com o propósito de garantir uma combustão eficiente (OLIVEIRA, MAGANHA, 2006).

2.2.8 Acabamento Final

Geralmente, grande parte dos produtos cerâmicos são retirados dos fornos, examinados e remetidos para o consumo. Entretanto, alguns produtos ainda passam por procedimentos para atender algumas características que não são alcançadas no processo de fabricação. Assim o processo pós-queima ganha o nome genérico de acabamento e inclui polimento, retifica, furação, etc (OLIVEIRA, MAGANHA 2006).

2.2.8.1 Polimento

A realização do polimento acontece nas placas sinterizadas com o propósito de reduzir a rugosidade e ampliar o brilho, dando características estéticas bastantes valorizadas pelo comprador. O polimento consiste em um processo que utiliza equipamentos providos de várias cabeças polidoras de alta rotação composta de materiais abrasivos que, em contato com as placas cerâmicas sob controlada velocidade e com presença de água, realizam o polimento (BITTENCOURT, BENINCÁ, 2002; WIGGERS, W. S.; SANTOS, R. A.; HOTZA, D., 2007 apud ALVES *et al*, 2010).

2.2.8.2 Retificação

A retificação refere-se à remoção do material e é realizada por meio de contatos de grãos abrasivos existentes em uma ferramenta que avança sobre uma peça em alta velocidade. Muitas dessas peças têm a retificação como a finalização do processo de fabricação, por ser o acabamento final (ARAUJO, 2010).

2.2.8.3 Classificação/Paletização

Após as peças prontas, as mesmas são classificadas e embaladas, tendo assim a finalização do processo de produção (OLIVEIRA, MAGANHA 2006).

O controle de qualidade do produto considera o aspecto superficial, a regularidade dimensional, as características mecânicas e químicas. O exame dos pontos superficiais e das peculiaridades mecânicas, dentre elas cor, trinca, empeno das peças é realizada por um técnico em função do defeito encontrado, a peça é codificada e classificada numa linha pelos embaladores, e na outra, por uma classificação automatizada de embalagem. A investigação dos pontos dimensionais do produto é obtida por um sistema automático, a seguir é disposta em pallets de madeira, armazenada e comercializada (OLIVEIRA, MAGANHA 2006).

2.3 QUALIDADE DO REVESTIMENTO CERÂMICO

Vargas (2007), afirma que para continuar competindo no mercado internacional a indústria brasileira de revestimento cerâmico deve ter como estratégia a qualidade dos seus produtos.

Com o aumento das exportações foi exigido das empresas uma melhor qualidade internacional de seus produtos e a certificação de qualidade. Assim grande parte das indústrias de revestimento cerâmico implementou a ISO 9000 (GORINI, CORREA, 1999).

Segundo a ABNT (2000) a ISO 9000 é um conjunto de normas que têm como objetivo auxiliar as instituições, de todos os tipos e tamanhos, na execução e operação do sistema de qualidade eficiente. A mesma tem como objetivo orientar os fundamentos do sistema de gestão da qualidade e determinar a terminologia para este sistema.

A ISO 9001 exige as condições necessárias para que o sistema de gestão da qualidade da organização comprove sua competência fornecendo produtos que atendam às necessidades do consumidor e as condições regulamentares aplicáveis, e objetiva ampliar a satisfação do mesmo (ABNT, 2015).

Conforme informações passadas por e-mail, o Centro Cerâmico do Brasil – CCB é um grupo de direito privado, sem fins lucrativos, criada em 1993 pela ANFACER, que tem como objetivo ser uma entidade certificadora da qualidade de

revestimentos cerâmicos. Desde então a CCB se estabeleceu como um Organismo de Avaliação de Conformidade (OAC) e Entidade Tecnológica, fundando uma organização tripartite, tendo representantes dos produtores das placas de revestimentos cerâmicos, dos clientes e das organizações neutras – como universidades, escolas técnicas e institutos de pesquisa.

Por ser um Organismo de Avaliação de Conformidade, o CCB age energicamente com os produtores de revestimentos cerâmicos com o propósito de certificar a qualidade dos produtos, seguindo suas respectivas normas de cada setor cerâmico e avaliar o sistema de gestão da qualidade e ambiental segundo as diretrizes da ABNT NBR 9001 e ABNT NBR 14001.

As normas que regem a fabricação de placas de revestimentos cerâmicos e porcelanatos são: ABNT NBR 13816 (ABNT, 1997a) que trata sobre placas cerâmicas para revestimento – terminologia; ABNT NBR 13817 (ABNT, 1997b) que expõe sobre placas cerâmicas para revestimentos – classificação; ABNT NBR 13818 (ABNT, 1997c) que discorre sobre placas cerâmicas para revestimentos – especificações e métodos de ensaios; e ABNT NBR 15463 (ABNT, 2013) que discursa sobre placas cerâmicas para revestimentos – porcelanato.

De acordo com a NBR 15463 (ABNT, 2013 p 1) dispõe sobre porcelanatos “placa cerâmica para revestimento com baixa porosidade e elevado desempenho técnico. Pode ser esmaltado ou não, polida ou natural, retificada ou não retificada. ”

Entretanto a NBR 13817 (ABNT, 1997b), discursa sobre a classificação das placas cerâmicas para revestimento, seguindo um grupo e critérios, sendo eles:

- a) Esmaltados e não esmaltados;
- b) Métodos de fabricação (prensado, extrudado e outros);
- c) Grupos de absorção de água;
- d) Classes de resistência à abrasão superficial, em número de 5;
- e) Classes de resistência ao manchamento, em números de 5;
- f) Classes de resistência ao ataque de agentes químicos, seguindo diferentes níveis de concentração;
- g) Aspectos superficial ou análise visual.

As Tabela 1 e Tabela 2 apresentam, respectivamente, os grupos de que estão o revestimento cerâmico de acordo com a quantidade de umidade, e qual

grupo pertence cada revestimento cerâmico tendo como base o método de fabricação do mesmo.

Tabela 1 – Grupo de absorção de água

Grupos	Absorção de água (%)
Ia	$0 < \text{Abs} \leq 0,5$
Ib	$0,5 < \text{Abs} \leq 3,0$
IIa	$3,0 < \text{Abs} \leq 6,0$
IIb	$6,0 < \text{Abs} \leq 10,0$
III	Abs acima de 10,0

Fonte: ABNT NBR 13817(1997b),

Tabela 2 - Codificação dos grupos de absorção de água em função dos métodos de fabricação

Absorção de água AA (%)	Métodos de fabricação		
	Extrudado (A)	Prensado (B)	Outros (C)
$\text{Abs} \leq 0,5$		Bia	
$0,5 < \text{Abs} \leq 3$	AI	BIb	CI
$3 < \text{Abs} \leq 6$	IIa	BIa	CIa
$6 < \text{Abs} \leq 10$	IIb	BIb	CIb
$\text{AA} > 10$	III	BIII	CIII

Fonte: ABNT NBR 13817(1997b)

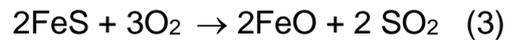
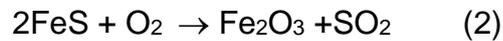
2.4 DEFEITOS

A falta de controle no processo produtivo das matérias primas pode dar origem a uma série de defeitos, tanto nas placas cerâmicas semi elaboradas como no produto acabado (BIFI, 2000).

Segundo Biffi (2000), os defeitos mais constantes originados na matéria prima e que podem ser encontrados nas placas cerâmicas são:

- Presença de minerais naturais danosos (furo nos produtos esmaltados): os minerais mais comuns que causam defeitos encontrados são os sulfetos como a pirita (FeS_2) calcopirita (CuFeS_2), entretanto a oxidação da pirita é

completa acima de 700°C de acordo com as reações (1), (2) e (3) apresentadas a seguir:



- Contaminação das matérias primas ou da massa (formação de bolhas ou pontas de agulha no esmalte): a contaminação da massa pode causar pontas de agulha e cavidades no esmalte, causada pela presença de elementos contaminantes nas matérias primas ou na massa. Um profundo exame realizado utilizando microsonda eletrônica especificou que a mancha negra encontrada na superfície apresenta uma forte concentração de Fe e Mn, formalizando o pensamento de contaminação por partes metálicas. Outra origem de contaminação seria os materiais plásticos ou de origem orgânica, que no processo de queima deixam cavidades nas quais o esmalte adere.

- Presença de minerais naturais danosos (coração negro, presença de uma zona central na placa cerâmica com cor mais escura): ocorre devido a incompleta oxidação, de elementos carbonosos presente na matéria prima durante a queima. A cor negra que se tem nas partes centrais da peça não é por causa da presença do carvão, “[...] o óxido de carbono derivado da combustão das substâncias orgânicas, que se desenvolve na queima, até que não seja retirado dos poros do produto, mantém o ferro em estado ferroso” (BIFFI, 2000). Pode causar inchaço na peça com a cor mais escura, por conter elementos orgânicos em excesso nas matérias argilosas.

Coração negro segundo Damiani *et al* (2001), é um local escuro (em geral cinza) que se estende paralelamente a face, perto de meia altura da espessura, por toda a extensão da peça. O local escuro normalmente desaparece perto das bordas da peça. “A origem do coração negro está associada à presença de compostos de carbono (matéria orgânica) e óxidos de ferro nas argilas” (Beltran, V et al (1988); Amorós, J.L *et al* (1998); apud Damiani *et al*, 2001 p, 12).

Segundo Albaro (1991 apud Siqueira 2017), coração negro são fases vítreas de cor que pode alterar de verde escuro a negra, com origem da reação da

sílica e alumina existentes nos argilominerais com compostos de ferro na sua forma reduzida.

Pode-se observar na Figura 2 um pedaço de revestimento cerâmico com coração negro, onde é possível verificar que o mesmo tem uma cor cinza e que causa vazios no meio da peça.

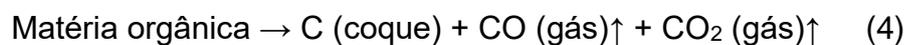
Figura 2 - Placa cerâmica com coração negro



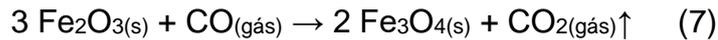
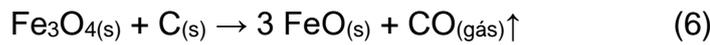
Fonte: da autora (2021)

Segundo Damiani *et al* (2001) as reações responsáveis por desenvolver o coração negro são:

- A matéria orgânica passa por uma carbonificação ou pirólise, catalisada pelo silicato de alumínio que está presente nos argilosminerais, e se converte para coque (C), conforme reação (4) a seguir:



- A alta habilidade de redução do carbono e do monóxido de carbono gerados pela reação, possibilitam a redução do ferro também existente nas argilas, conforme reações (5), (6), (7) e (8) abaixo:



A redução do Fe_3O_4 em FeO , exibe coloração mais escura e é mais fundente do que na sua condição oxidado, desta forma a fusibilidade da mesma no local em que o ferro está reduzido (coração negro) é maior do que o resto das peças e assim dificulta a saída dos gases liberados nas reações apresentadas acima (DAMIANI *et al* 2001).

O coração negro pode causar inchamento nas peças cuja a absorção da água é inferior a 10%, e isso ocorre pois há um aumento da pressão interna da peça (DAMIANI *et al* 2001).

Os mesmos autores ainda discorrem que o coração negro provoca deformação piróplásticas, na qual, onde ocorreu a formação do mesmo, o volume de fase líquida é maior e sua viscosidade menor do que o resto da peça. Por conta disso, as peças com coração negro têm maior tendência a se deformar durante a queima através da deformação piropilástica.

Em razão do desprendimento do monóxido de carbono, do dióxido de carbono e da água durante a queima, ocasiona-se grandes quantidades de “vazios” no interior da peça e sua permeabilidade não deixa os gases saírem. Por conta desses vazios as propriedades mecânicas são comprometidas, e assim se tem a deterioração das características técnicas (DAMIANI *et al* 2001).

Segundo os mesmos autores, se esses gases conseguirem alcançar a superfície esmaltada podem afetar a qualidade do esmalte, alterando a cor da superfície do suporte e provocando variação de tonalidade da superfície.

Após discorrer sobre os defeitos da matéria prima, será abordado sobre os defeitos provenientes da preparação da massa, segundo Biffe (2000):

- Desuniformidade da moagem, excesso ou falta de umidade: está ligada a fase de granulação dos pós. Referente a desuniformidade da umidade ocorre

variação contínua das características mecânicas do verde¹, e em fenômenos de quebra na fase de secagem, por efeito de uma distribuição não uniforme da água que umedece a massa. Já o excesso de umidade causa sujeira nos estampos da prensa e baixo escorrimento do grânulo na prensa;

- Granulometria excessivamente fina ou grossa: granulometria excessivamente fina pode ocorrer maior retração de queima e tem maior propensão de formar coração negro. Já a granulometria excessivamente grossa provoca pouca resistência mecânica do verde e do secado causando anomalia na retração de queima.

3 COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS PELA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTO CERÂMICO E A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Como dito anteriormente a utilização de combustíveis fósseis tem o objetivo de gerar calor para retirar a água da barbotina (OLIVEIRA, HOTZA, 2015) onde a mesma é encaminhada para o atomizador e pulverizadas no seu interior. Esse spray se mistura com o ar quente (por volta de 700°C) (OLIVEIRA, MAGANHA 2006).

3.1 CARVÃO

O carvão é uma complexa mistura de componentes orgânicos sólidos, fossilizados ao longo de milhares de anos, assim como os outros combustíveis fósseis (ANEEL, 2005).

É uma rocha combustível, incluindo quantidade superiores a 50% em massa e 70% do volume de material carbonáceo, oriunda do acúmulo e decaimento lento de restos de plantas em ambientes subaquáticos (BORGES 2005).

O carbono é o elemento de maior domínio, mas ainda são encontrados outros elementos, dentre eles o enxofre, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio. A proporção de carbono é importante pois é ele quem determina a maturidade geológica do mesmo (rank) isto é, determina o estágio de carbonificação e sua

¹ Termo utilizado para a peça crua, antes da queima.

sequência evolutiva. A umidade, poder calorífero, os teores de carbono e hidrogênio ou a fluorescência, são características que permitem estimar o rank, visto que a alta carbonificação aumenta o poder refletor e reduz o hidrogênio e as matérias voláteis (CANO, 2017).

O carvão é um combustível fóssil e sua geração é devido a deposição de matéria orgânica de vegetais em bacias sedimentares. Sofrendo a ação de pressão e temperatura em um ambiente anóxico, por conta do seu soterramento e as atividades orogênicas. Eles se solidificam ao longo do tempo geológico, onde estes acabam perdendo oxigênio e hidrogênio e se enriquecendo de carbono, tal processo é chamado de carbonificação (BORBA 2001).

Segundo Borba (2001), o processo de carbonificação pode determinar as suas características pois quanto mais pressão e temperatura a matéria orgânica sofrer melhor a qualidade do carvão, também conhecido como rank. Seus estágios são determinados pelo nível de carbonificação e são eles: turfa, sapropelito, linhito, sub-betuminoso, betuminoso e antracito. O nível mínimo indicado para uso industrial é o linhito.

A turfa tem baixo grau de carbono (com 45%) em sua estrutura. Consiste no primeiro estágio do carvão, depois o linhito tendo uma quantidade de carvão que varia de 60% a 70% de carbono. O carvão betuminoso (hulha) é o mais utilizado como fonte de energia na qual tem cerca de 75% a 80% de carbono, e o mais puro dos carvões é o antracito, na qual apresenta mais de 90% de carbono na sua composição (ANEEL, 2005).

Existe outro índice que indica a qualidade do carvão que é a mensuração da quantidade de matéria incombustível (cinza), denominado como grade. Quando se tem baixa grade significa que ele possui uma baixa qualidade, ou seja, possui uma quantidade alta de cinza misturada com a matéria carbonosa (BORBA 2001).

Sua qualidade é determinada pela quantidade de carbono, na qual varia de acordo com a sua tipologia e o estágio dos componentes orgânicos (ANEEL, 2005).

É o recurso energético mais abundante e com maior perspectiva de vida útil. Na matriz energética global o carvão ocupa a segunda colocação de combustível fóssil mais utilizado, ficando atrás do petróleo (BORBA 2001).

Segundo o ANEEL (2005) o carvão é o mais abundante combustível fóssil, tendo uma reserva estimada de 1 trilhão de toneladas, tendo assim a capacidade de atender à demanda atual por mais de duzentos anos.

O carvão é uma valiosa fonte de energia, mas a mesma ocorre pela sua combustão. Análises realizadas no carvão do sul do Brasil foi possível observar a presença de elementos Ag, As, Au, B, Ba, Be, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, Hg, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Pt, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Tl, U, V, Zn, Zr, Y, Al, Ca, Fe, Na, Mg, K, P, S, Si, e Ti nos mesmos níveis encontrados mundialmente em outros carvões (KALKREUTH et al 2006; apud DEPOI 2007 apud LUNKES 2010).

O carvão é usado para gerar calor, energia elétrica, aquecimento industrial, vapor, aquecimento doméstico, etc., além da produção de coque, gás combustível e subprodutos líquidos. O consumo do carvão se dá por ter disponibilidade, preços relativamente em estabilidade e pouco problemas de disposição dos resíduos (cinza) (TEIXEIRA, SANTANA, 2008).

Quando ocorre a combustão do carvão há emissões de material particulado e de gases poluentes, dentre eles os que se destacam são o material particulado, dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio (TEIXEIRA, SANTANA, 2008).

Com o aumento do consumo do carvão para geração de energia, ocorreu também um aumento de poluição térmica, liberação de material particulado, óxidos de enxofre, chuva ácida e emissão de elementos traço (A.I. KARAYIGIT, R.A. GAYER, X. QUEROL, T, 2000 apud BORGES 2005).

Nos EUA a “Clean Air Act Amendments”, em 1990, relatou 189 poluentes de ar perigosos, dentre eles elementos radioativos e substâncias orgânicas carcinogênicas. A existência dos gases como os óxidos de enxofre e de nitrogênio está ligado ao acontecimento de chuva ácida. Os lugares perto de minerações são constantemente submetidos ao aumento nos níveis de nitrito, nitrato, sulfatos e elementos traços no solo e água, ligados as cinzas volantes e ao acondicionamento inadequado das cinzas oriundas da combustão do carvão (E. FURIMSKY, 2000; M. KARUPPIAH, G. GUPTA 1997, apud BORGES 2005).

A matéria mineral presentes no carvão, quando submetido a queima (temperaturas acima de 1400°C), acaba sofrendo decomposição, fusão, aglomeração e volatilização de determinados elementos – traços (SWAINE E GOODARZI, 1995 apud TEIXEIRA, SANTANA, 2008). Os minerais presentes no

carvão (pirita, calcopirita) e carbonatos (calcita, siderita, dolomita), se decompõe, produzindo óxidos metálicos, SO₂/SO₃ e CO₂, respectivamente. Os elementos principais das cinzas volantes são o quartzo, óxido de ferro, caulinita, muscovita, mulita e outros aluminossilicatos (SANTANA, 2002 apud TEIXEIRA, SANTANA, 2008).

Quando queimado os componentes orgânicos presentes no carvão são transformados em CO₂, H₂O, HCl, SO_x, NO_x, CO e traços de substâncias (R. A. MEYERS, 1981; E. FURIMSKY, 2000 apud BORGES, 2005).

Determinados elementos traços como os As, Be, Cd, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, F, V e U são emitidos por usinas termelétricas, cujo o combustível utilizado é o carvão e acaba acarretando efeito tóxico para os seres vivos (R.B. FINKELMAN 1994 apud BORGES 2005).

Segundo Borges (2005), os elementos traços existem no carvão em pequenas quantidades que divergem dos resultados de muitos procedimentos pelas quais esses já tenham sido oclusos durante os diferentes estágios de carbonificação.

O mesmo autor ainda relata que estes elementos estão associados a matéria prima mineral do carvão, toda via alguns componentes possuem uma afinidade com a matéria orgânica.

Os componentes associados a matéria mineral ficam constantemente afetados pela combustão, mas em sua maioria estão presente nas cinzas (V. VALKOVIĆ, 1983 apud BORGES 2005).

Estudos realizados encontraram 25 elementos de importância ambiental em concentrações relevantes, incluindo As, Cd, Pb e Tl, na qual são considerados poluentes do ar potencialmente perigosos pela Clean Air Act Amendments de 1990 (A.I. KARAYIGIT, R.A. GAYER, X. QUEROL, T. 2000 apud BORGES 2005).

A formação da cinza e seus tributos físicos, mineralógicos e químicos dependem de diversos fatores dentre eles: o tipo de carvão, o processo de combustão (temperatura, tempo de exposição, etc) e equipamento de controle (precipitadores eletrostáticos, filtros, ciclones, etc). Além disso destaca-se a distribuição geoquímica dos elementos – traços de carvão que superam também a influência significativa nas emissões de material particulado com metais ligado (TEIXEIRA, SANTANA, 2008).

Apesar de se ter uma alta eficiência para os equipamentos de controle de poluição atmosférica (maior que 99,9%), seu desempenho é baixo se tratando de partículas finas ($10 \mu\text{m}$), assim se tem uma abundância de aerossóis emitidas a atmosfera (TEIXEIRA, SANTANA, 2008).

Os componentes ligados a fração orgânica e sulfetos acabam volatilizando durante a combustão ao mesmo tempo que os elementos ligados aos minerais não sulfetados (aluminossilicatos, etc) não volatilizam no mecanismo volatilização – condensação (QUEROL ET AL., 1995; DAVIDSON E CLARKE, 1996; SWAINE E GOODARZI, 1995; CLARKE E SLOSS, 1992; TEIXEIRA et al., 1992; PIRES E TEIXEIRA, 1992 apud TEIXEIRA, SANTANA, 2008).

Uma característica do carvão brasileiro é o grande volume de cinzas oriunda de sua queima (50%). Neles se tem a presença de elementos traços potencialmente tóxicos (TEIXEIRA, SANTANA, 2008).

Estudos comprovam que a quantidade de enxofre liberado pela queima de carvão é maior que de outros combustíveis fósseis (ISOBBE et al., apud 2005 TEIXEIRA, SANTANA, 2008).

Há também a formação de HPA's (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos), no processo de queima incompleta de matéria orgânica (carvão, petróleo, óleo e madeira) (TEIXEIRA, SANTANA, 2008).

Em análises realizadas em carvão identificou-se 16 espécies de HPA's, com exceção de naftaleno e acenafetanelo, com quantidade abaixo do limite de quantificação ($0,01 \text{ ng m}^{-3}$), as concentrações médias de HPA's aconteceram entre $0,051$ e $1,791 \text{ ng m}^{-3}$, salientando que o elemento fenantreno foi identificado com a maior concentração ($9,190 \text{ ng m}^{-3}$) (TEIXEIRA, SANTANA, 2008).

3.2 COQUE VERDE DE PETRÓLEO

A origem do coque verde de petróleo (CVP) se dá a partir do coqueamento de óleos residuais pesados nas unidades de conversão de resíduos, também conhecidos como unidades de coqueamento retardado (UCR) (SILVA, 2006).

Quando o coque sai da UCR dá-lhe a denominação “verde” por ser um produto isento de tratamento térmico, ou seja, antes de ser submetido ao método de calcinação, realizado por algumas indústrias fora das instalações de refinaria. O

mesmo tem várias utilizações industriais (UNIMETAL, 2015 apud HOFFMANN, PAVEI, 2016).

A característica do CVP e a sua porosidade. Normalmente possui uma forma de grânulos, sua cor é negra, e muitas vezes é semelhante ao carvão mineral. Sua formação química é carbono e hidrocarbonetos residuais do processo do petróleo. Algumas substâncias podem ser encontradas no CVP como o enxofre, nitrogênio, oxigênio e metais, mas depende do tipo de petróleo na qual foi processado. Assim para determinar o teor de enxofre, material volátil e metais (níquel e vanádio) deve-se saber a origem do mesmo. O CVP demonstra alto ponto de autoignição, pois para entrar em combustão precisa de altas temperaturas (PETROBRAS, 2019).

Sua principal característica é o baixo teor de enxofre. O CVP nacional tem um alto teor de carbono fixo e estabilidade química, além de ser insolúvel em água e ter baixo teor de cinza e compostos voláteis (PORTAL, 2015 apud HOFFMANN, PAVEI, 2016).

Segundo Portal (2015, apud Hoffmann, Pavei, 2016) a característica do CVP é 87% de carbono fixo, 89% típico (em peso – base seca), máximo de 1% de enxofre sendo que o típico é 0,7% (em peso – base seca), a quantidade de material volátil é no máximo 12% e o típico é de 10% (em peso – base seca) e seu poder calorífero fica entre 8200 a 8600 kcal/kg.

Na Tabela 3 apresenta-se a característica do CVP conforme a Norma Técnica “Condições para Utilização de Coque Verde de Petróleo – CVP como Combustível em Fornos e Caldeiras” – CPRH N.1007 (CPRH, 2015).

Tabela 3 – Composição do CVP

Análise Imediata %	
Carbono fixo	84 – 97
Enxofre	0,5 – 7,5
Material volátil	2 – 15
Hidrogênio	Até 5
Cinzas	0,1 a 0,8
Metais pesados	
Ferro (Fe)	50 – 2000

Vanádio (V)	5,0 – 5000
Boro (B)	0,1 – 5,0
Níquel (Ni)	10 – 30000
Propriedades	
Densidade aparente, kg/m³	700 – 900
Poder calorífico inferior (PCI). kcal/kg	8200 – 8600

Fonte: CPRH, 2015

Sua caracterização é de alto teor de carbono e rico em hidrocarbonetos residuais (de 2% a 15%, podendo chegar a mais de 21%), incluindo os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), o que lhe dá um odor característico e alto poder calorífico (CONCAWE, 1993; MESKO, 2008; PEREIRA, 2007; SANTOS; SILVA, 2008 apud GURGEL, 2011).

Os metais pesados presente no CVP, especialmente o vanádio e níquel, estão ligados à sua estrutura, estando presente nas cinzas e do material particulado. Por ter maior composto residual as concentrações de metais pesados no CVP são maiores que a do coque calcinado (ELLIS; PAUL, 2007 apud AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 2007 apud GURGEL, 2011).

Na Tabela 4 pode-se observar os metais pesados presente no CVP.

Tabela 4 – Metais pesados presente no CVP

Alumínio	Cobre	Níquel
Antimônio	Cromo	Paládio
Arsênio	Enxofre	Platina
Bário	Estanho	Potássio
Berílio	Ferro	Selênio
Bismuto	Fósforo	Silício
Boro	Lítio	Sódio
Cádmio	Magnésio	Titânio
Cálcio	Manganês	Vanádio
Chumbo	Mercúrio	Zinco
Cobalto	Molibdênio	

Fonte: American Petroleum Institute, 2007 apud Gurgel, 2011

Pesquisas foram realizadas por Hoffmann, Pavei, (2016), sobre a ecotoxicidade dos efluentes gerados por lixiviação de amostras do CVP. A análise tomou como base os limites máximos de toxicidade aguda determinado pela Portaria nº 17 – FATMA de 2002, na qual se refere a origens dos efluentes, categoria da atividade química e a subcategoria da atividade petroquímica. Obteve-se toxicidade 3 considerando limite 2 definida pela portaria supracitada. É importante deixar claro que o efluente gerado não foi do produto in natura.

As mesmas autoras ainda trazem outros estudos relacionados a ecotoxicologia do CVP, como poluentes prejudiciais à saúde liberados na combustão do mesmo. Dentre esses poluentes está o benzeno. O mesmo causa diversos danos ao organismo humano, dentre eles a intoxicação aguda ou crônica, denominada benzenismo (RANGEL-S, 2006).

O benzeno pode ser absorvido tanto pelas vias respiratórias como por via cutânea, com a distribuição ocorrendo rapidamente pelos tecidos, mas se concentra em tecidos ricos em lipídio que atua como um reservatório. Quando presente no corpo ele atua como um elemento tóxico a qualquer grau de exposição tornando-se perigoso (FRANÇA 2010).

Augusto (1991 apud França 2010) discorre sobre a origem dos poluentes, "as principais fontes desse solvente continuam sendo as indústrias petroquímicas e

refinarias de petróleo, como por exemplo, o gás de coqueria e o coque do petróleo que são utilizados como combustíveis”

A exposição ao CVP pode resultar tanto da exposição ao pó quanto as emissões atmosféricas frutos de sua queima (GURGEL 2011).

A seu uso como fonte de energia produz dentre outros elementos, dioxinas e furanos, onde a organização mundial da saúde reconhece-as como carcinogênicos (SEVÁ FILHO; SANTI, 2003 apud FRANÇA 2010).

No momento em que os metais pesados e os HPA's encontram o ambiente, os mesmos são absorvidos pelos tecidos de vegetais e animais, e podem se depositar nos sedimentos, caracterizando como um estoque permanente de contaminação para a biota aquática e conseqüentemente para o homem (GURGEL 2011)

Segundo European Commission, (2000 apud Gurgel 2011) quando ocorre a decomposição do CVP se tem a emissão de vários produtos perigosos para a saúde e o meio ambiente, dentre eles os hidrocarbonetos, óxidos de enxofre e monóxido de carbono. Mas os principais problemas de saúde associados a estes compostos são os respiratórios, mutações, cânceres, o efeito estufa e danos a vegetação.

Segundo Simoneit (2002 apud SANTOS; AZEVEDO; ALQUINO NETO, 2004 apud HOFFMANN, PAVEI, 2016) o petróleo e seus produtos mostram menores concentrações de poluentes com relação ao carvão.

Análises realizadas por Hoffmann, Pavei, (2016) por conta do potencial efeito do coque em causar efeitos genotóxicos, mutagênicos, e carcinogênicos no homem e outras espécies, verificou-se que dos 16 HPA's listados na Tabela 5 identificou-se 13 na amostra e 3 abaixo do limite destacado.

Tabela 5 – Concentração de HPA's no CVP

	Tipos de HPA's	Concentração (mg.kg⁻¹ ou ppm)	IARC(1)	NEP(2) (ng.g⁻¹ ou ppm)
1	Naftaleno	0,910	-	391
2	Acenaftileno	< 0,025	-	128
3	Acenafteno	< 0,025	-	88,9
4	Fluoreno	0,020	3	144
5	Fenantreno	2,780	3	544

6	Antraceno	1,040	3	245
7	Fluoranteno	0,590	3	1.494
8	Pireno	2,830	3	1.398
9	Benzo (a) antraceno	5,240	2 ^a	693
10	Criseno	6,350	3	846
11	Benzo (b) fluoranteno	2,000	2B	-
12	Benzo (k) fluoranteno	0,530	2B	-
13	Benzo (a) pireno	< 0,025	2 ^a	763
14	Indeno (1,2,3-cd) pireno	2,040	2B	-
15	Dibenzo (a,h)antraceno	4,950	2 ^a	135
16	Benzo(g,h,i)perileno	7,960	3	-

Fonte: Hoffmann, Pavei (2016)

Legenda:

(1) IARC, 2002 IARC = International Agency for Research on Cancer.

2A = Provável carcinogênico para humanos – limitada evidência em humanos e suficiente em animais;

2B = Possível carcinogênico para humanos – limitada evidência em humanos e insuficiente em animais;

3 = Não é classificado como carcinogênico para humanos.

(2) Nível de Efeito Provável em amostras de sedimentos contaminados - determinado pela Environment Canadá, 1998. Valores de referência.

Não se tem limites estabelecidos para a exposição ocupacional do CVP tanto internacional como nacionalmente. Internacionalmente órgãos e instituições mostram limites de exposição ao pó do CVP, previstos para qualquer poeira contendo MP, entretanto não há consideração referente a presença de HPA's (GURGEL 2011).

3.3 GÁS NATURAL

O gás natural é uma combinação de hidrocarbonetos leves que em temperaturas ambientes e pressão atmosférica mantém-se em estado gasoso (CETESB, 2015).

Segundo a lei 9478 de 1997, Art 6º parágrafo segundo:

II - Gás Natural ou Gás: todo hidrocarboneto que permaneça em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, incluindo gases úmidos, secos, residuais e gases raros (BRASIL, 1997).

Ele é a combinação de derivados de combustíveis fósseis, constituído de animais soterrados que foram expostos a altas temperaturas e pressão ao longo do tempo geológico, ou pode ter sua origem da decomposição de biomassa (SANTA CATARINA, 2021).

Sua composição é majoritariamente teores de hidrocarbonetos parafínicos, além de componentes não hidrocarbonetos. Os hidrocarbonetos existentes no gás natural são: metano (CH_4), etano (C_2H_6), propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}), frequentemente a presença de pentano (C_5H_{12}), e dodecano ($\text{C}_{12}\text{H}_{26}$). Já os componentes não hidrocarbonetos são nitrogênio (N_2), dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O), gás sulfídrico (H_2S) e compostos de enxofre (ANP, 2020).

São encontrados alguns contaminantes no gás natural, dentre eles o enxofre total, gás sulfídrico (H_2S), gases inertes (CO_2 e N_2), oxigênio, além de partículas sólidas (ANP, 2020).

Na grande maioria dos casos tais contaminantes podem agir sozinho ou na presença de água, tornam-se corrosivos a equipamentos metálicos, comprometendo o transporte do gás ou reduzindo o poder calorífico das misturas gasosas (ANP, 2020).

O gás é utilizado como um combustível fóssil, mas antes deve passar por um tratamento para se remover tais contaminantes. Por conta disso sua combustão é a mais limpa, pois emite uma quantidade menor de dióxido de carbono na atmosfera, sendo empregado e valorizado no mercado mundial (SANTA CATARINA, 2021).

Mesmo sendo uma fonte limpa (SANTA CATARINA, 2021), podem emitir óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), compostos orgânicos voláteis (COV), dióxido de enxofre (SO_2) e material particulado (MP) (CETESB, 2015). A emissão mais considerável neste combustível são os óxidos de nitrogênio (NO_x). Sua formação depende de nitrogênio presente no combustível ou a oxidação do nitrogênio em altas temperaturas (CETESB, 2015).

A formação de NO_x na combustão do gás natural se dá por conta do NO_x térmico, onde ocorre por meio da dissociação térmica e subsequente reação das moléculas de nitrogênio (N_2) e o oxigênio, existente no ar de combustão. A grande parte de NO_x formado por meio térmico se dá por conta das altas temperaturas (>

900°C), na zona de chama perto dos queimadores. Este mecanismo NO_x térmico necessita da temperatura da chama e do acúmulo de oxigênio (CETESB, 2015).

O mercado mundial do gás natural atualmente está mais aquecido, efeito do crescente comércio de gás natural liquefeito, e o mesmo deverá superar o carvão ficando com a segunda maior fonte de energia do mundo depois do petróleo em 2030, por conta da busca pela redução da poluição atmosférica e ao crescimento do emprego do GNL (IEA 2018, apud BARBOSA 2021).

O gás natural utilizado em Santa Catarina é advindo da Bolívia, onde é transportado por gasoduto. O Gasoduto da Bolívia até o Brasil tem uma extensão de 3.150 km, passando por diversas cidades onde tem as estações de entrega. Nessas cidades há companhias de distribuição, alimentando industriais residências e postos de combustíveis. Por dia são transportados 30 milhões de m^3 de gás natural (SANTA CATARINA, 2021).

Segundo Rangel e Büchler (2005), o gás natural boliviano tem cerca de 1% de N_2 , mas pode ocorrer variações por conta da contribuição de cada campo de extração.

O uso do gás natural como fonte energética traz algumas vantagens comparada com outros combustíveis, dentre eles não precisa estocar, tendo assim a eliminação de riscos do seu armazenamento (CETESB, 2015).

3.4 CAVACO

O cavaco é originado do processo de picagem da madeira e seu tamanho varia de acordo com o entendimento do picador, o método e as características da madeira picada. Além do método de picar toras de madeira, o cavaco pode ser oriundo de resíduos de serrarias ou unidades de beneficiamento de madeira (MAFRA, 2021).

Seu poder calorífero pode variar dependendo da espécie. As madeiras de coníferas têm um poder calorífero superior médio de 5200 cal/g, já a madeira de folhosas tem poder calorífico superior médio de 4500 cal/g. A composição química de cada uma é a responsável por essa variação, relacionando-se diretamente com os teores de lignina, cinza e extrativos (TRUGILHO, 2015).

O estudo da formação química elementar da madeira, originada de qualquer espécie é dada pela seguinte composição média a base seca (BLASELBAUER, 2010):

- Carbono – 49 a 50 %;
- Hidrogênio – 6%;
- Oxigênio – 44%;
- Nitrogênio – 0,1 a 1%;
- Cinzas – 0,2% (produzido por substâncias incombustíveis)

Podem ser encontrados pequenas quantidades de: cálcio, potássio, sódio e magnésio (BLASELBAUER, 2010).

O uso de derivados de madeira na combustão em caldeiras além da obtenção de calor e energia contribuem para eliminação de resíduos sólidos. Entretanto suas emissões atmosféricas dependem da origem dos derivados de madeira e suas características (CETESB, 2015).

Durante a queima de madeira podem ocorrer emissões de material particulado (MP), que dependem principalmente da composição do derivado de madeira utilizado e dos equipamentos de controle de emissões. Também os óxidos de nitrogênio (NO_x) podem ser lançados em quantidades significativas quando uma variedade de resíduos de madeira é queimada ou quando as situações da queima não são adequadas (CETESB, 2015).

A situação que as fornalhas se encontram são importantes quando se trata de queima de resíduos de madeira, tendo em vista o elevado teor de umidade que está presente nos mesmos, por isso a importância da necessidade de secagem antes da combustão (CETESB, 2015).

Se tratando do teor de umidade, a madeira por se portar como um material higroscópico, isto é, tem a capacidade de absorver água do ambiente em que está, provoca a perda significativa do seu potencial energético, em razão da energia gasta para secá-la (TRUGILHO, 2015). O mesmo autor ainda discorre que “o teor de umidade possui relação inversamente proporcional ao valor calórico da madeira ou de qualquer combustível convencional”.

Derivados de madeira com mais umidade (exemplo de pasta de celulose que pode ter mais de 70% do peso em umidade, areia e outros materiais não

combustíveis), quando queimados podem emitir uma quantidade considerável de material particulado para a atmosfera. Já derivados de madeira seco (exemplo da fabricação de móveis que tem um percentual de 2 a 20% do seu peso em umidade), emitem níveis de material particulado relativamente baixos, se adequadamente queimados. Com relação ao NO_x da queima de derivados de madeira molhado, seus níveis são relativamente menores (metade) se comparados com os derivados de madeira seco (CETESB, 2015).

3.5 PRINCIPAIS POLUENTES GERADOS DURANTE A QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS

O lançamento de efluentes atmosféricos podem ter várias origens dentre elas naturais ou antropogênicas (GUIMARÃES, 2016).

A principal fonte de poluição atmosférica se dá pela queima de combustíveis fósseis (MILLER E SPOOLMAN, 2016).

Nessas emissões os poluentes podem ser classificados como primários e secundários. Os primários são aqueles lançados diretamente da fonte para o ar. Os mais monitorados sendo eles dióxido de enxofre (SO_2), os óxidos de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), os compostos orgânicos voláteis (COV), os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e os materiais particulados (MP) (Guimarães et al, 2016; Braga et al ,2002). Entretanto as emissões podem originar de eventos naturais como dispersão de polens, erupções vulcânicas, fumaça de fogos em florestas e gases resultantes da decomposição da matéria orgânica (GUIMARÃES, 2016).

Ressalta-se também as fontes antrópicas, na qual são originadas a partir de queima de combustíveis fósseis como o carvão e petróleo, exaustão automotiva, que origina a maior fonte de poluição do ar nas grandes cidades, junto com as emissões de poluentes de processos industriais e queima de resíduo sólidos (GUIMARÃES, 2016).

Miller e Spoolman, (2016), discorrem que esses lançamentos são decorrentes da queima dos combustíveis fósseis, na qual são gerados alguns poluentes entre eles: monóxido e dióxido de carbono, os óxidos de nitrogênio e o ácido nítrico, dióxidos de enxofre e ácido sulfúrico, material particulado, etc.

3.5.1 Óxidos de carbono

Podem ser o monóxido de carbono e o dióxido de carbono. O monóxido de carbono é altamente tóxico e é formado pela queima incompleta dos combustíveis, ou seja, em ambientes que se tem pouco oxigênio. Suas principais fontes são a queima de florestas, chaminés industriais que queimam combustíveis fósseis, fornos ineficientes, exaustores de veículos automotores. Já o dióxido de carbono é gerado na combustão completa, sua fonte é derivada da queima de combustíveis fósseis (MILLER E SPOOLMAN, 2016).

Nas fórmulas a seguir é possível observar a formação do monóxido de carbono (9) e a sua decomposição (10) e (11) (GOMES, 2010):



A formação do monóxido de carbono também pode ocorrer da decomposição de derivados de ácido carbônico que contém o grupo – OH. Depois que se forma, este gás ele reage naturalmente com o oxigênio gerando o dióxido de carbono (GOMES, 2010).

Os responsáveis por produzir 60% do monóxido de carbono são os veículos automotores a gasolina (MACINTYRE, 1990).

Se tratando do CO₂, a metade de sua produção se mantém na atmosfera associada ao vapor d'água, já a outra metade é captado pelos oceanos e as plantas, que liberam o O₂ e fixam o carbono em sua estrutura celular. A camada de CO₂ e o vapor d'água deixam penetrar energia solar na terra, sob forma de energia radiante, mas bloqueia a energia calorífica emitida pela mesma, causando um efeito como o estufa (MACINTYRE, 1990).

3.5.2 Óxidos de nitrogênio e ácidos nítricos

São decorrentes da reação de principalmente gás nitrogênio com o oxigênio em altas temperaturas de combustão, sendo emitidos por motores de automóveis, usinas industriais e termelétricas de carvão. Quando o NO está

presente no ar ele atua com o oxigênio e forma o dióxido de nitrogênio. O NO_2 reage com o vapor de água e forma o ácido nítrico e os sais nítricos (MILLER E SPOOLMAN, 2016).

Dentre os gases gerados pelos combustíveis fósseis, o NO é predominantemente encontrado, já a fração de NO_2 é menor que 10% do NO total emitido. Após o lançamento na atmosfera ocorre a oxidação do NO a NO_2 , pela ação da radiação solar (GOMES, 2010).

Esses óxidos de nitrogênio, também conhecidos como NO_x , são basicamente o somatório de $\text{NO} + \text{NO}_2$. Ambos são quimicamente reativos e possuem um papel significativo nas causas ambientais moderna, dentre elas a formação e precipitação de chuva ácida (HNO_3), a poluição atmosférica (smog fotoquímico), os aerossóis atmosféricos, e a redução da camada de ozônio na estratosfera (GUIMARÃES, 2016).

Segundo Guimarães (2016), em um conjunto geral, todos os compostos que possuem nitrogênio na atmosfera podem ser definidos como: $\text{NO}_y = (\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{HNO}_3 + \text{HONO} + \text{NO}_3 + \text{N}_2\text{O}_5 + \text{HNO}_4 + \text{PAN} + \text{Nitratos orgânicos} + \text{Outros em menores concentrações})$.

O NO_x tem uma atribuição importante na formação de ozônio na troposfera, na qual envolve o NO_2 , e os compostos orgânicos voláteis (COV). Juntos contribuem em uma série de reações químicas, na qual o produto é o HNO_3 , assim auxilia no aumento da chuva ácida.

Os óxidos nítricos são liberados quando há a combustão de madeira e outros combustíveis a base de biomassa, visto que este tem materiais naturais na qual contém nitrogênio (BAIRD, CANN, 2011).

Na Tabela 6 é possível observar as fontes de poluição de óxidos de nitrogênio.

Tabela 6 – Fontes de poluição de nitrogênio

Elemento chave	Poluente	Fonte poluidora
N	NO NO_2	Fabricação de ácido nítrico Oxidação a alta temperatura Processo de nitrificação
	NH_3	Fabricação de amônia

Outros compostos de
N, piridinas, aminas

Esgoto; clarificação de gordura,
processo de solventes

Fonte: MACINTYRE, 1990 p. 282 adaptado pela autora (2021)

3.5.3 Dióxido de enxofre e ácido sulfúrico

O SO₂ lançado na atmosfera tem como origem fontes naturais e antrópicas. Nas fontes naturais se destacam os vulcões e a queima de biomassa. E na fonte antrópica a queima de combustíveis fósseis e atividades industriais (GUIMARÃES, 2016) principalmente de combustão de carvão nas usinas de energia e indústria (MILLER E SPOOLMAN, 2016). O SO₂ também é o principal produto da oxidação de todos os compostos reduzidos de enxofre existentes na atmosfera (GUIMARÃES, 2016).

Estando na atmosfera são modificadas a aerossóis, conjuntos de gotas microscópicas suspensas de ácido sulfúrico (MILLER E SPOOLMAN, 2016).

É um poluente facilmente encontrado na atmosfera, sendo os principais compostos o dióxido de enxofre (SO₂), trióxido de enxofre (SO₃), ácido sulfúrico (H₂SO₄), ácido sulfuroso (H₂SO₃), e o ácido sulfídrico (H₂S) (GOMES, 2010).

De todos os óxidos já mencionados o dióxido de enxofre é o poluente dominante. Quando ocorre a combustão em centrais térmicas o dióxido de enxofre é formado na razão de 4 a 8 partes por cada parte de trióxido de enxofre (GOMES 2010).

O principal produto das atividades bacterianas é o H₂S. Incluem-se também sua origem das emissões vulcânicas, oceânicas, solo, vegetação, queima de biomassa e indústria (GUIMARÃES, 2016).

Quanto aos sais de enxofre como o sulfato de cobre, sulfato de cálcio e o sulfato de magnésio originam-se da queima de combustíveis fósseis em diversas formas e de vários processos produtivos. Contudo, alguns deles são oriundos da aplicação de técnicas de controle das emissões de dióxido de enxofre (GOMES, 2010).

Na Tabela 7 é possível observar as fontes de poluição de óxidos de nitrogênio.

Tabela 7 – Fontes de poluição de enxofre

Elemento chave	Poluente	Fonte poluidora
S	SO ₂	Gases das caldeiras
	SO ₃	Fabricação de ácidos sulfúrico
	H ₂ S	Processamento de gás natural Tratamento de esgoto Indústria de polpa e papel
	R – SH (mercaptans)	Industria petroquímica, polpa e papel

Fonte: MACINTYRE, 1990 p. 282 adaptado pela autora (2021)

3.5.4 Material particulado - MP

Os materiais particulados em suspensão são agregados de partículas sólidas e gotas líquidas, de dimensão pequena e leve para ficar em suspensão por longos períodos de tempo. Os materiais particulados têm normalmente tamanhos que variam desde grandes partículas de 10 mm até partículas pequenas de 0,01 mm (GOMES, 2010). Assim podem ser classificados pelo seu tamanho como PTS (> 50 µm), MP-10 (> 10 µm), MP-2,5 (> 2,5 µm). 62% do MP contido no ar são derivados de fontes naturais como pó, queimadas e sal marinho, já os 38% restantes são de fontes antrópicas como usinas industriais, termelétricas de carvão, veículos automotores e construção de estradas (MILLER E SPOOLMAN, 2016).

Para Gomes (2010), MP é definidos como qualquer matéria sólidas ou líquidas, de que os agregados individuais se tornem maiores que pequenas moléculas (de diâmetro de 0,0002 mm, mas menores que 50 µm). Além de aerossóis que são modificações causada pela condensação de vapores ou separação de líquidos formando minúsculas gotas demonstradas névoas.

O material particulado pode ser dividido em poeira, vapor, névoa ou spray (VESILIND, MORGAN, 2011).

A poeira pode ser definida como, o MP carregado por gases provenientes de processos na qual utilizam carvão, cinzas e cimento, produto de um material básico que passa por um processo mecânico (exemplo serragem de madeira), ou material carregado depois de utilizado em processo mecânico (exemplo areia utilizada para o jateamento) (VESILIND, MORGAN, 2011). Uma das características

da poeira é que sua partícula é grande, como por exemplo, o pó do cimento que tem um diâmetro de 100 μm (VESILIND, MORGAN, 2011).

O vapor é uma partícula sólida, predominantemente um óxido metálico, obtido por conta de condensação de vapores por sublimação, destilação, calcinação ou operações de reações químicas. Seus diâmetros podem variar de 0,03 a 0,3 μm (VESILIND, MORGAN, 2011).

A névoa é uma partícula líquida que se formou pela condensação de um vapor ou por reações químicas. Seu diâmetro pode ser de 0,5 a 3 μm (VESILIND, MORGAN, 2011).

Fumaça é constituída de partículas sólidas tendo sua origem na combustão incompleta de materiais carbonáceos. Apesar de hidrocarbonetos, ácidos orgânicos, óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio podem ser produzidos pelo processo de combustão, somente as partículas sólidas são resultado da combustão incompleta de materiais carbonáceos sendo chamadas de fumaça. Seu diâmetro pode variar de 0,05 μm a 1 μm (VESILIND, MORGAN, 2011).

Por fim os sprays são partículas líquidas oriunda da atomização de um líquido base e sedimentam por causa da gravidade (VESILIND, MORGAN, 2011).

3.5.5 Compostos orgânicos voláteis (COV's)

Segundo Decreto Lei nº 242/01 (apud GOMES, 2010), o composto orgânico é qualquer composto que tenha pelo menos um carbono e os seguintes elementos: hidrogênio, halogênios, oxigênio, enxofre, fósforo, silício ou nitrogênio, com ressalva dos óxidos de carbono, dos carbonatos e bicarbonatos inorgânicos. Quando o composto apresenta somente carbono e hidrogênio, são identificados como hidrocarbonetos formando um grupo funcional (GOMES 2010).

Alguns pesquisadores indicam COV's como um subgrupo dos compostos orgânicos caracterizado pela propensão de evaporar (volatilizar) a temperaturas ambientes e a pressão atmosférica, com a exceção do monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbônico, carbonetos metálicos ou carbonatos e carbonato de amônio (GUIMARÃES, 2016).

Os principais COV's encontrados na atmosfera poluída são classificados pelos grupos alcanos, alcenos, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, éteres, álcool, nitratos de peroxiacil (PAN), hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos

biogênicos são predominantemente originados da queima de combustíveis fósseis ou de origem natural, como as reações bacterianas (GUIMARÃES, 2016).

Na Tabela 8 verifica-se alguns tipos compostos orgânicos.

Tabela 8 – Tipos de compostos orgânicos C_nH

Compostos orgânicos	Nomes	Grupo característico	
Hidrocarbonetos	Alcanos	C _n H _{2n+2}	
	Alifáticos	Alcenos	C _n H _{2n}
		Alcinos	C _n H _{2n-2}
	Aromáticos	Compostos com benzeno	C ₆ H ₆
Grupos funcionais	Derivados Halogenados		C-halogéneo
		Álcoois	R-C-OH
		Éteres	R-COC
		Aldeídos	R-CHO
		Cetonas	R-CO-R´
		Ácidos carboxílicos	R-COOH
		Ésteres	R-COO-R´
		Aminas	R-NH ₂
		Amidas	R-CONH ₂

Fonte: GOMES, 2010, p. 63

3.5.6 Metano

O metano (CH₄) é um composto orgânico presente na atmosfera sendo o hidrocarboneto mais simples. Se tratando da química da atmosfera, o metano não tem alta reatividade, mas contém concentrações consideráveis se comparado aos outros COV's, variando entre 1,5 ppm a 2,0 ppm. O metano implica significativamente na química da atmosfera, suas emissões se dão principalmente por processos naturais e por seres vivos, como as bactérias e ruminantes. É também o produto da decomposição anaeróbica de matéria prima orgânica, encontrada em pântanos e depósitos fósseis (gás natural) (GUIMARÃES, 2016).

Para o autor, os principais processos humanos que emitem metano na atmosfera são a decomposição de lixo em aterros sanitários, queima de biomassa, mineração de carvão, extração de petróleo e de gás natural.

Na Tabela 9 verifica-se quais principais fontes poluidoras que emitem poluentes orgânicos

Tabela 9 – Poluentes orgânicos e suas fontes

Elemento chave	Poluente	Fonte poluidora
C	Orgânico	
	Hidrocarbonetos – parafinas, olefinas e aromáticos	Operação com solventes; gasolina; operações petroquímicas; solventes
	Hidrocarbonetos oxigenados	Processo de oxidação parcial; operações de capeamento
	Aldeídos, cetonas, álcoois, fenóis e óxidos solventes clorados	Lavagens a seco: desengraxamento

Fonte: MACINTYRE, 1990 p. 282 adaptado pela autora (2021)

3.6 EQUIPAMENTOS DE TRATAMENTOS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

As fontes fixas são as maiores responsáveis pela poluição atmosférica, emitindo material particulado, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, dentre outros poluentes tóxicos e perigosos. Para controlar as emissões atmosféricas de fontes estacionárias são utilizadas medidas de controle evitando a degradação da qualidade do ar (GOMES, 2010).

Quando se trata da qualidade do ar, na análise da necessidade de implementação de equipamentos de controle, devido ao seu elevado custo e complexidade, a escolha deve ser cuidadosa considerando a natureza da emissão a ser controlada (incluindo as particularidades físicas e químicas do poluente, a sua taxa de emissão e particularidades do processo), as características e desempenho do equipamento, assim como o custo de implementação e operação (GOMES, 2010).

Ao se determinar qual o equipamento utilizado para se realizar o tratamento adequado, o mesmo requer uma combinação de características do poluente como os recursos do aparelho de controle. É considerável ressaltar que os tamanhos das partículas de material particulado alteram entre si, assim não se deve presumir que um aparelho vai realizar o tratamento com eficiência para todos os poluentes. Ademais é pelas substâncias químicas emitidas que apontam para o uso de um equipamento (VESILIND, MORGAM, 2011).

Para os autores, os aparelhos para o controle de poluição atmosférica são divididos em tipos, os que são aplicados para o controle de materiais particulados e os que controlam os poluentes gasosos.

Na Tabela 10 verifica-se os equipamentos indicados para a indústria cerâmica.

Salienta-se, porém, que será dado destaque aos equipamentos de controle das emissões atmosféricas na qual a indústria em estudo possui em seu processo produtivo

Tabela 10 – Coletores recomendados para a indústria cerâmica

Operação	Teor de carga	Granulometria	Ciclones	Multiciclones	Coletores úmidos e lavadores de gases	Filtros	Filtros de fibra de vidro	Precipitadores eletrostáticos
Manipulação	Leve	Fina	Raro	Raro	Frequente	Frequente	Não	Não
Rebarbação e moagem	Moderada a forte	Fina a média	Não	Não	Frequente	Eventualmente	Não	Não

Fonte: Macintyre (1990 p. 273) adaptado pela autora (2021)

3.6.1 Controle de material particulado

A remoção do material particulado ocorre através de técnicas diversas, podendo destacar câmeras de sedimentação, ciclones, filtros de saco ou tecidos, torre de nebulização, lavador e precipitador eletrostático, sendo que algumas técnicas são mais eficientes que outras naturalmente (GOMES, 2010).

3.6.1.1 Ciclones

No ciclone o ar poluído é forçado a entrar em um cilindro cônico, mas fora da linha central, originando uma violenta agitação dentro do cone, como uma centrífuga (VESILIND, MORGAM, 2011).

Gomes (2010, p 212) explica como ocorre a retirada do material particulado pelo ciclone:

Nos ciclones correntes, o gás de exaustão entra junto ao topo de um corpo cilíndrico através de uma entrada tangencial. Isto cria um vórtice que desce em espiral junto das paredes do ciclone até atingir a base deste, na forma de cone. Ai, o vórtice inverte o sentido e retrocede pela zona central do ciclone até atingir a saída dos gases situados no topo. A força centrífuga criada pelo vórtice impede a partículas de encontro as paredes do ciclone onde se vão acumulado. Assim que a sua massa o permite, as partículas deslizam para a base do ciclone onde são recolhidas num recipiente adequado.

Segundo o autor, para grandes volumes de gases ou para aumentar a eficiência da remoção do particulado, frequentemente se utiliza ciclones múltiplos (montados em paralelo).

É possível observar na Figura 3 um ciclone.

Figura 3 – Ciclone.



Fonte: do autor (2021).

3.6.1.2 Filtros de saco ou tecido ou manga

Outro equipamento para controle de material particulado são os filtros de saco ou tecidos, que funcionam como um aspirador de pó. Os sacos são usados para recolher a poeira na qual deve ser retirada do mesmo periodicamente. O tecido remove quase todo o MP, incluindo os de tamanho submícron. Os sacos são largamente utilizados em várias aplicações industriais, mas são sensíveis a elevadas temperaturas e umidade (VESILIND, MORGAM, 2011).

A filtração é um dos equipamentos mais eficientes no controle de partículas, havendo processos que chega à remoção de 99,5% (GOMES, 2010).

Os filtros mangas são os equipamentos mais comuns nos processos de filtração. Os mesmos são adaptados para controlar as emissões de partículas onde a quantidade de poeira é elevada, de dimensões pequenas, necessitando de uma alta eficiência de remoção. Os filtros mangas agrupam um conjunto que pode ir de centenas a milhares de sacos tubulares suspensos em um abrigo adequado, podendo ser elaborado de vários materiais dependendo das condições operatórias do sistema (GOMES, 2010).

O seu uso tem como vantagens o tratamento de vazões relativamente elevadas e sua eficiência para partículas pequenas, já suas desvantagens são em

não poder tratar gases húmidos, ser explosivos, possuir custo elevado de manutenção e não suportar elevadas temperaturas (GOMES, 2010).

Na Quadro 1 é possível averiguar todos os tecidos utilizados para os filtros e suas resistências a ácidos, alcalinos e a abrasão.

Quadro 1 - Materiais e tecidos usados em filtros industriais

Tecido	Temperatura de fusão	Máxima temperatura de operação	Resistência a ácidos	Resistência a alcalinos	Resistência a abrasão
Algodão	Decompõe-se a 150°C	82°C	Pequenos	Regular	Boa
Lã	Queima a 300°C	93°C	Muito boa	Pequena	Razoável a boa
Fibra de vidro	800°C	288°C	Razoável a boa	Razoável a boa	Razoável
Orlon	Amolece a 250°C	127°C	Boa a excelente em ácidos minerais	Razoável a boa em álcalis fracos	Boa
Nailon 6,6	249°C	93°C	Razoável	Excelente	Excelente
HT-1	Queima a 371°C	204°C	Melhor que náilon, não tão boa quanto o dracron e o orlon	Pior que náilon, melhor que o dracron e o orlon	Boa
Dracon	252°C	135°C	Boa para a maioria dos ácidos minerais. Dissolve-se em ácidos sulfúrico	Boa em álcalis fracos. Razoável em álcalis fortes	Boa
Polipropileno	167°C	93°C	Excelente	Excelente	Excelente
Terlon	Decompõe-se a 400°C	Emite gases tóxicos a 232°C	Inerte, com exceção ao flúor	Inerte, com exceção ao cloro, trifluoreto e metais alcalinos	Razoável

Poliéster	-	110°C	Muito boa	Boa	Muito boa
------------------	---	-------	-----------	-----	-----------

Fonte: Macintyre (1990) p.292

Na Figura 4 observa-se o abrigo dos filtros manga.

Figura 4 – Filtro manga



Fonte: da autora (2021)

3.6.1.3 Lavadores

Gomes (2010) discorre que o lavador é um equipamento que efetua a depuração de poluentes sólidos e gasosos, tem um formato ciclônico relatando seu funcionamento:

[...] é uma torre em que se verifica um fluxo descendente de gotas do líquido utilizado para remoção (água ou outro) que são lançadas em spray sobre um fluxo ascendente de gás a depurar. Os sistemas que utilizam sprays de alta pressão produzem gotículas de pequena dimensão são os mais adequados a remoção de partículas com dimensões entre 1 e 2 μm . Nos lavadores ciclônicos, o gás é eliminado tangencialmente para provocar um turbilhão, tal como acontece nos ciclones (secos) (GOMES, 2010 p. 226).

A eficiência dos sistemas pode ser superior à dos sistemas secos haja visto que a separação acontece não somente pela força centrífuga, mas também com o arraste das partículas com o líquido (GOMES, 2010).

Verifica-se na Tabela 11 os poluentes que podem ser removidos pelos lavadores.

Tabela 11 – Poluentes removidos nas torres lavadoras.

Ácido acético	Ácido bórico	Ácido fluorídrico
Acetona	Bromina	Ácido sulfídrico (H ₂ S)
Álcoois	Dióxido de carbono	NO-NO ₂
Amônia	Ácido crômico	Cloreto de sódio
Aminas	Cloro	Ácido fosfórico
Nitrato de amônia	Cianetos	Hidróxido de sódio
Sulfato de amônia	Formaldeídos	Dióxido de enxofre
Soluções de anodização	Ácidos bromáticos	Ácido sulfúrico
Soluções de galvanoplastia	Ácido clorídrico	Ureia
Vapores de benzeno	Materiais solúveis em água	

Fonte: Macintyre (1990) p. 316

A torre de nebulização ou depuradores é outro equipamento para o controle de particulado grandes. Os mais eficientes proporcionam o contato entre água e ar, por ação intensa em uma seção de gargalo encolhido, para dentro de onde a água é inserida. Quanto maior a intensidade, menores são as bolhas de gás ou gotículas de água e melhor o efeito e a purificação. Os mesmos são eficientes, mas tem duas desvantagens, produz uma pluma visível (vapor d'água), e o outro seria os resíduos gerados, agora como efluente líquido, sendo que este também necessita de um tratamento (VESILIND, MORGAM, 2011).

3.6.2 Controle de poluentes gasosos

Este tem a função de eliminar os poluentes gasosos, na qual consiste em uma alteração química do poluente ou uma alteração no processo de produção do mesmo (VESILIND, MORGAM, 2011).

De forma geral os equipamentos para conter os poluentes gasosos está longe de alcançar os resultados obtidos no controle das partículas, isto se dá pelo desenvolvimento tardio das tecnologias para conter os mesmos. Os equipamentos mais comuns para remover poluentes gasosos são absorção, adsorção e combustão (GOMES, 2010).

3.6.2.1 Absorvedores

Os depuradores úmidos removem os poluentes gasosos pela simples dissolução dos mesmos em água ou pelo contato com uma substância química (como cal) injetada junto com a água no depurador para reagir com o poluente. É amplamente utilizado para a remoção de SO₂ (VESILIND, MORGAM, 2011).

O sistema de lavagem mais comum é chamado de torre de leito fixo onde o absorvente é colocado no topo e desce através de um material de enchimento, em contracorrente do gás contaminado. O material de enchimento destina-se a potencializar o contato do absorvedor com o gás (GOMES, 2010). O autor discorre sobre o equipamento tipo Venturi:

[...] o líquido é injetado junto ao estrangulamento de um tubo de Venturi. A cortina de líquido é atravessada pelo fluxo de gases a depurar, formando-se gotas que arrastam o material particulado. Assim, o mecanismo primário de recolha das partículas e o impacto inercial, pelo que, quanto maior for a velocidade de passagem do gás através do Venturi, maior será a eficiência do equipamento (GOMES, 2010, p 227).

Este equipamento possibilita a remoção de partículas em média, de menores dimensões, do que outros equipamentos do tipo lavadores. Efetivamente consegue ter a remoção com uma eficiência superior a 95% para partículas com diâmetro médio de 0,2 µm (GOMES, 2010).

Os absorvedores também são considerados lavadores, logo podem remover os poluentes descritos na Tabela 11.

Na Figura 5 verifica-se o lavador de gases.

Figura 5 – Lavador de gases.



Fonte: do autor (2021).

Na Tabela 12 pode-se observar a relação dos equipamentos utilizados para controle da poluição atmosférica e suas características como, se gera resíduo, se necessita de energia, seu rendimento, a temperatura máxima que pode operar e o tamanho da partícula máxima que consegue tratar.

Tabela 12 – Características dos equipamentos utilizados para depuração do ar

Equipamento	Poluente	Partícula µm	Temperatura limite (°C)	Rendimento	Energia elétrica	Água	Vapor	Combustível	Resíduo		Poluentes	Observações	
									Sólido	Líquido			
Câmara de sedimentação		>50	370	<50	X					X	Poeira seca	Bom como um pré-deprador.	
Ciclones		5 - 25	370	50 a 90	X					X	Poeira seca	Investimento pequeno	
Precipitador dinâmico		>10	370	>80	X					X	Poeira seca		
Filtro Manga		<1	260	>99	X					X	Poeira seca	Mangas de pano sensíveis a umidade e a temperatura.	
	Aerossóis												
Torres de pulverização		25	4 a 370	<80	X	X					X	Líquido	Necessita tratamentos os resíduos.
Venturi		<1	4 a 370	≤99	X	X					X	Líquido	
Precipitador eletrostático		<1	540	95 a 99	X					X		Poeira seca ou úmida	
Lavador de gás		-	4 a 40	>90	X	X					X	Líquido	
Absorvedores a gás	Gasoso	-	4 a 40	>97	X						X	Sólido ou líquido	
Incineração direta		-	Vapores 1.100 combustível 760	>98	X				X				

Incineração catalítica	-	Vapores 1.100 combustível 760	<98	X	X
-------------------------------	---	----------------------------------	-----	---	---

Fonte: Macintyre (1990 p 284) adaptado pela autora (2021).

4 ÁREA DE ESTUDO

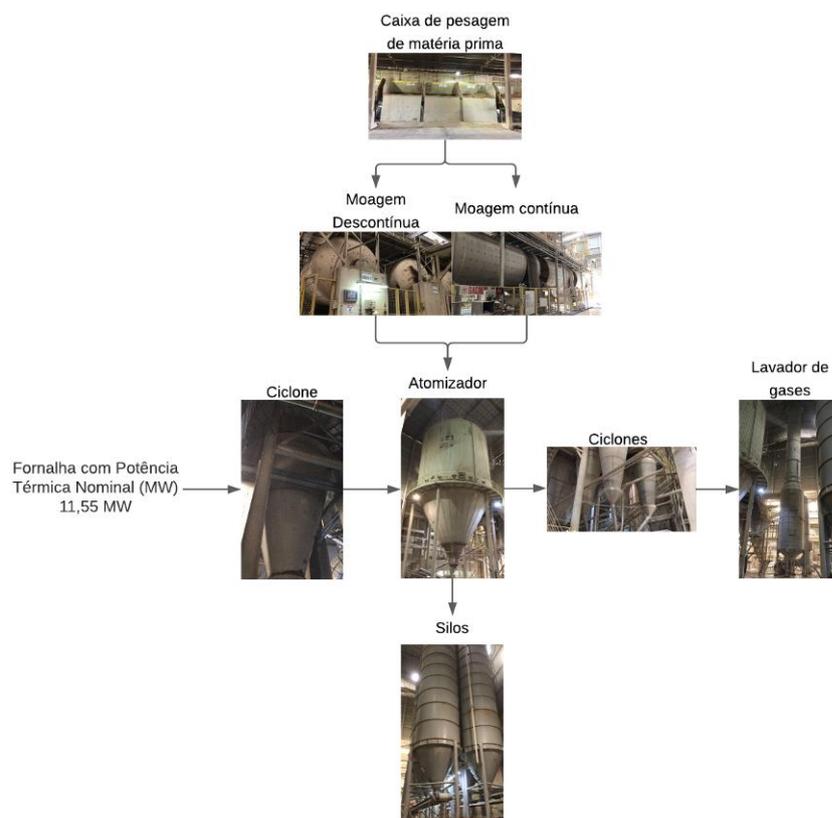
A indústria, onde realizou-se o estudo, em seu processo produtivo conta inicialmente com uma caixa de pesagem, posterior sistema de esteiras de transporte, que leva a matéria prima para os moinhos. Referente ao processo de moagem todas as três linhas ocorrem por via úmida, sendo que a Linha 1 é do tipo descontínua, e as Linhas 2 e 3 contínuas.

Após os moinhos o material é encaminhado para a atomização, que opera por aquecimento gerado na queima dos combustíveis fósseis produzida na fornalha, e posteriormente os pós atomizados vão para os silos.

Na fornalha, onde origina esse calor, são queimados de carvão/cavaco (Linhas 1 e 2) e coque verde de petróleo (Linha 3), ou com gás injetado diretamente dentro do atomizador.

Na figura 6 é apresentado o fluxograma do processo produtivo até os silos.

Figura 6 – Processo produtivo da pesagem até os silos



Fonte: do autor (2021).

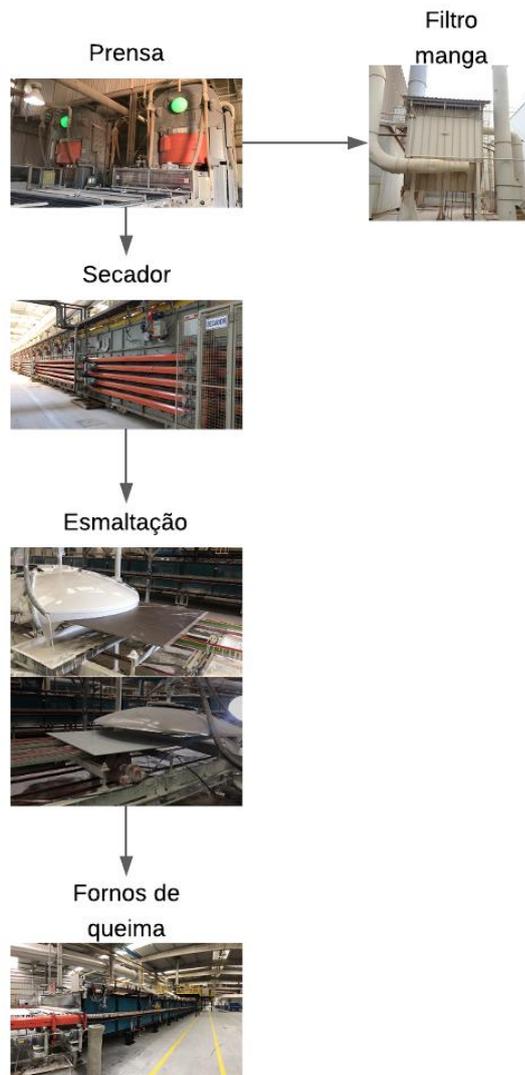
Após a produção da massa e formação dos pós atomizados, os mesmos são levados por esteiras para as prensas onde ganham sua formação de placas cerâmicas.

Assim que prensadas, por ter ainda uma porcentagem de água em sua composição, as mesmas são encaminhadas para os secadores para retirar a umidade residual.

Em seguida as mesmas recebem uma camada de esmalte, e são encaminhadas por esteiras para os fornos de queima.

Na figura 7 é apresentado o fluxograma do processo produtivo da prensa até a queima.

Figura 7 – Processo produtivo da prensa até a queima



Fonte: do autor (2021).

A seguir vai para o setor de acabamento, variando entre as linhas, sendo que a Linha 1 não há polimentos indo diretamente para as retíficas para ter seu alinhamento e posteriormente embaladas. Já as Linhas 2 e 3 possuem a etapa de polimento onde os mesmos são responsáveis por dar brilho as placas cerâmicas.

Na Figura 8 é possível observar a sequência do processo produtivo de acabamento

Figura 8 – Processo produtivo de acabamento



Fonte: do autor (2021).

5 QUALIDADE DO AR

A humanidade teve muito benefícios com a industrialização, mas também trouxe malefício, dentre eles a poluição ambiental (CALIJURI, 2019).

Segundo a Lei 6.938 de 1981 (BRASIL, 1981) no seu Art 3º inciso terceiro, poluição pode ser entendida como desgaste da qualidade ambiental devido a prática de atividades que direta ou indiretamente:

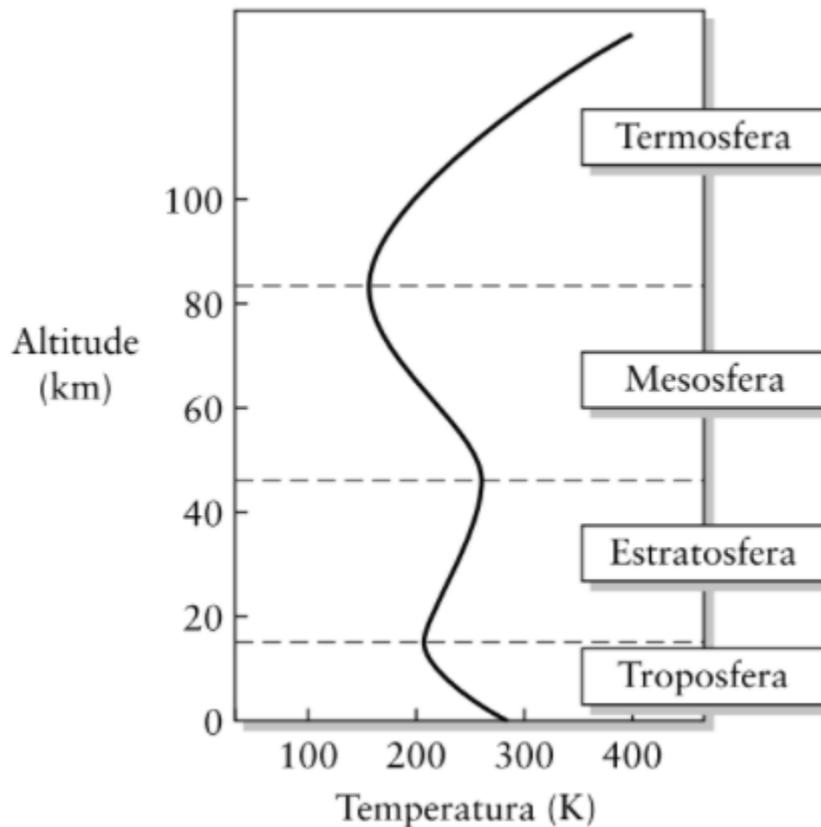
- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981).

Consequentemente poluição atmosférica pode ser definida como “[...] presença ou lançamento no ambiente atmosférico de substâncias em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem estar do homem, ou no pleno uso e gozo de sua propriedade” (DERISIO, 2000, p. 87).

A atmosfera é dividida em quatro zonas de fácil distinção por conta do seu perfil de temperatura, e são elas: troposfera onde 80% do ar fica retido, estratosfera na qual se encontra a camada de ozônio, mesosfera e a termosfera onde se tem apenas 0,1% do ar (VESILIND, MORGAN, HEINE, 2018).

Na Figura 9 pode-se analisar a variação da temperatura das camadas e suas respectivas altura.

Figura 9 – Variação de temperatura x camadas da atmosfera



Fonte: (VESILIND, MORGAN, HEINE 2018, p 318),

A atmosfera tem uma composição de basicamente nitrogênio (78,1%), oxigênio (20,9%), argônio (0,93%) e dióxido de carbono (0,039%) (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2017). Mas devido a industrialização há emissões de muitos compostos diferentes, em concentrações capazes de provocar impactos adversos a saúde humana, na vegetação, na agricultura, no clima, nas construções e nos habitats (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2017).

Os três componentes básicos da poluição atmosférica são: as fontes de emissão, a atmosfera e os receptores. Quando lançados (fontes), os poluentes conseguem se locomover e se interagir. Com a interação eles conseguem se misturar e reagir quimicamente com qualquer substância presente na atmosfera, e tendo o auxílio do sol, uma fonte de energia e o vapor d'água, podem se disseminar por grandes extensões (CALIJURI, 2019).

Com essas variedades de substâncias que são emitidas na atmosfera, acaba-se tornando difícil estabelecer uma classificação para os poluentes, assim pode-se iniciar dividindo os poluentes em: poluentes primários e secundários.

Posteriormente, substâncias usualmente consideradas poluentes atmosféricos que podem ser classificadas como compostos de enxofre (SO_2 , SO_3 , H_2S , sulfatos), compostos de nitrogênio (NO , NO_2 , NH_3 , HNO_3 , nitratos), compostos orgânicos de carbono (hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas, e ácidos orgânicos), monóxido de carbono e dióxido de carbono, compostos halogenados (HCL , HF , cloretos, fluoretos) e material particulado (DERISIO, 2000).

Como já citado anteriormente, os poluentes primários são os lançados diretamente no ar. Os secundários têm sua formação na atmosfera por meio das reações que acontecem pela presença de algumas substâncias químicas e certas condições físicas, como a formação da chuva ácida, onde o SO_2 reage com o vapor de água e com o oxigênio, formando (H_2SO_4) (BRAGA *et al* (2002).

Com relação as escolhas dos parâmetros como índices da qualidade do ar, está ligado à sua maior repetição de acontecimentos e aos efeitos divergentes que causam ao meio (DERISO 2000).

Tais parâmetros são fundamentados em estudos científicos dos efeitos causados pelos poluentes e tem um nível fixado para possibilitar uma margem de segurança. (CALIJURI, 2019).

A resolução CONAMA 491 de 2018 (BRASIL, 2018) é a legislação vigente no país que determina sobre os padrões de qualidade do ar, e nela ainda manifesta o motivo de se ter tais padrões nos seu art 2º, inciso segundo:

II - padrão de qualidade do ar: um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica (BRASIL, 2018).

Na mesma resolução consta que os poluentes a serem monitorados são: Material particulado (MP_{10} , $\text{MP}_{2,5}$), dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), ozônio (O_3), fumaça, monóxido de carbono (CO), partículas totais em suspensão (PTS) e o chumbo (Pb_5) (BRASIL, 2018).

É importante ressaltar que mesmo mantendo as emissões atmosféricas, a qualidade do ar pode mudar em decorrência das condições meteorológicas, que podem determinar uma maior e menor diluição dos poluentes. E deste modo a qualidade do ar piora nos meses de inverno, pois as condições meteorológicas são

desvantajosas para dispersão de poluentes. A interação dos poluentes e a atmosfera pode definir os níveis de qualidade do ar (DERISO 2000).

Remover completamente os poluentes dos efluentes atmosféricos são possíveis, mas torna-se inviável economicamente e para o autor, desnecessária. Na maior parte das vezes uma pequena quantidade de impurezas acaba sendo emitida na atmosfera, mas a mesma não causa danos graves, pois o processo de depuração remove e limpa a atmosfera (CALIJURI, 2019).

6 LEGISLAÇÃO DE POLUIÇÃO ATMOSFERICA VIGENTE

Em 1989 criou-se a primeira publicação do CONAMA voltada para as questões atmosféricas na qual se instituiu o PRONAR (CONAMA nº 5) (BRASIL, 1989). Ela foi justificada pelo crescimento urbano, industrial e veicular no país, acarretando no aumento da poluição atmosférica, especialmente nas cidades metropolitanas. A mesma entende que a poluição atmosférica pode causar impactos negativos na sociedade, economia e meio ambiente e estabelece estratégias para controle, preservação e recuperação da qualidade do ar para todo o território nacional (BRASIL, 1989).

Atualmente no Brasil para avaliar se uma empresa que queima algum combustível, por conta do seu processo produtivo, está cumprindo os padrões exigidos pela legislação ambiental, deve-se consultar as Resoluções CONAMA nº 382 de 2006 (BRASIL, 2006), que limita o máximo de emissões atmosféricas que uma fonte fixa pode emitir, e a CONAMA nº 436 de 2011 (BRASIL 2011), que limita o máximo de emissões atmosféricas para fontes fixas com licenças liberadas antes de 2007.

Essas resoluções estão relacionadas com a CONAMA nº 491 de 2018 (BRASIL, 2018) que preconiza sobre padrões de qualidade do ar, na qual o ar em qualquer ponto amostrado deve apresentar os parâmetros analisados dentro dos padrões determinados pela mesma, não colocando em risco a saúde humana.

Se tratando de legislação vigente, tem-se também a resolução SEMA nº 16 de 2014 (PARANÁ 2014) que define critérios para o controle da qualidade do ar, bem como os padrões de emissão e critérios para fontes industriais, comerciais e de

serviços. Dispõe também de padrões de condicionamento e metodologias utilizadas para determinar tais emissões visando a qualidade do ar e sua melhoria e não comprometimento da qualidade do ar em locais em que a mesma se encontra em conservação. Importante salientar que a resolução SEMA é vigente no estado do Paraná, entretanto é utilizada como referência em outros estados/Órgãos e empresas, principalmente por apresentar padrões não encontrados nas resoluções CONAMA.

O artigo 22 da Resolução SEMA nº 16 de 2014 estabelece “os padrões de emissão para as fontes estacionárias com a utilização dos processos de geração de calor ou energia tais como caldeiras ou fornos” (PARANÁ, 2014) levando em consideração o tipo de combustível e a potência térmica nominal.

Na Tabela 13 observa-se o máximo de poluentes que podem ser emitidos tendo como combustível carvão mineral e coque.

Tabela 13 – Padrão para o lançamento de emissões atmosféricas tendo como combustível carvão mineral, xisto sólido, coque e outros combustíveis assemelhados.

Potência Térmica Nominal MW	Densidade colorimétrica	MP-total	CO	NOx	SOx	Automonitoramento – Amostragem	
						Parâmetros	Frequência
		mg/Nm ³					
Até 10		NA	500	NA	NA	CO, O ₂	Semestral
Entre 10 e 50		250	500	500	3.000	MP-total, CO, NOx, SOx e O ₂	Semestral
Entre 50 e 100	20% equivalente ao Padrão 1 da Escala Ringelmann 1)	200 MP-inorgânico 2) classe I, II, III	500	500	1.300	MP-total, CO, NOx, SOx e O ₂ MP-inorgânico	Semestral
MP-inorgânico 2) classe I, II, III		60	250	400	1.300	MP-total, CO, NOx, SOx e O ₂	Contínuo
		MP-inorgânico 2) classe I,				MP-inorgânico	Semestral

		II, III				
--	--	---------	--	--	--	--

Fonte: Paraná, (2014)

A Tabela 14 apresenta todas as legislações ambientais de poluição atmosféricas vigentes no país, sendo elas resoluções e decretos.

Tabela 14 – Legislações ambientais de poluição atmosférica vigentes no país.

Ano	Legislação	Descrição	Fonte
1989	Resolução CONAMA nº 05	Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR	Brasil (1989)
2006	Resolução CONAMA nº 382	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.	Brasil (2006)
2011	Resolução CONAMA nº 436	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de LAI anteriores a 02/01/2007	Brasil (2011)
2014	Resolução SEMA nº 16	Define critérios para o Controle da Qualidade do Ar como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental	PARANÁ (2014)
2018	Resolução CONAMA nº 491	Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.	Brasil (2018)

Fonte: autora (2021)

7 METODOLOGIA

Segundo Andrade (2010, p. 109) “pesquisa é o conjunto de procedimentos, baseado no raciocínio lógico, que tem por objetivo encontrar soluções para o problema proposto, mediante a utilização de métodos científicos”. Para a autora, a pesquisa pode ter distintos sentidos, assim ela pode ser bibliográfica, médica, físico-química, matemática, histórica, pedagógica, social, etc.

Desta forma a pesquisa pode ser classificada conforme sua natureza, objetivos, e aos procedimentos (ANDRADE, 2010).

Se tratando da natureza, esta pesquisa é classificada como aplicada, pois, pode contribuir com novas descobertas e conquistas para o entendimento científico (ANDRADE, 2010).

Para esta pesquisa a hipótese tem aspectos quantitativos e Godoy (1995, p. 58) pode definir a mesma como:

Em linhas gerais, num estudo quantitativo o pesquisador conduz seu trabalho a partir de um plano estabelecido a priori, com hipóteses claramente especificadas e variáveis operacionalmente definidas. Preocupa-se com a medição objetiva e a quantificação dos resultados. Busca a precisão, evitando distorções na etapa de análise e interpretação dos dados, garantindo assim uma margem de segurança em relação às inferências obtidas

A pesquisa conforme seu objetivo é de caráter exploratório, pois sua finalidade especialmente bibliográfica, dando informações sobre os assuntos relacionados, facilitando e determinando o tema abordado, definir objetivos e determinar hipóteses da pesquisa, e até mesmo dar um tipo de enfoque para o trabalho (ANDRADE, 2010). “Através das pesquisas exploratórias, avalia-se a possibilidade de desenvolver uma boa pesquisa sobre determinado assunto” (ANDRADE, 2010, p. 112). Segundo a autora, ela auxilia um trabalho preliminar ou preparatório para outro tipo de pesquisa.

Para alcançar os objetivos do trabalho foram realizados alguns passos que serão mencionadas na sequência:

7.1 PESQUISA EM REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS SOBRE O TEMA

As pesquisas sobre o tema foram realizadas no Google acadêmico, sciELO, artigos, livros, trabalhos de conclusão de cursos, dissertações, teses e revistas científicas.

7.2 ANÁLISE O HISTÓRICO DE MONITORAMENTO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS E RELAÇÃO COM OS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS

Para analisar o histórico de monitoramento das emissões atmosféricas da empresa foi realizado um levantamento no setor de Meio Ambiente, setor responsável do monitoramento anual das emissões atmosféricas e por possuir o banco de dados destes monitoramentos.

Realizou-se levantamento dos relatórios de emissões atmosféricas para a Linha 1 e 2 dos anos de 2013 a 2020, e a Linha 3 de 2015 a 2020. Também foi realizada uma verificação na sua licença ambiental para avaliar quais os poluentes, dentro das condicionantes, são necessários serem monitorados. Nesta etapa verificou-se que os poluentes monitorados são o MP, NO_x, SO_x. Importante salientar que o monitoramento foi realizado após o sistema de tratamento das emissões, ou seja, do lavador de gases.

Em razão da resolução CONAMA nº 382 não especificar os padrões máximos de emissões para combustível carvão e CVP, utilizou-se como padrões norteadores os descritos na resolução SEMA 16 de 2014 para avaliar se a empresa estava emitindo poluentes. Como dito anteriormente, a resolução SEMA nº 16 de 2014 somente é vigente no estado do Paraná.

A partir dos relatórios foi possível gerar tabelas e gráficos, com os resultados dos monitoramentos de MP, NO_x, SO_x, SO₃+H₂SO₄. Durante a pesquisa também foi realizado o levantamento, pelo setor de atomizadores/fornalha, os combustíveis utilizados nos anos de 2013 a 2021, com o objetivo de relacionar com os resultados de emissões atmosféricas. Salienta-se que a empresa em questão teve troca de combustíveis no começo do ano de 2021, utilizando além do coque verde de petróleo, o carvão e o cavaco.

7.3 AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO TIPO DE COMBUSTÍVEL NO PRODUTO FINAL

Para a avaliação da interferência do tipo de combustível na qualidade do produto final foram realizados levantamentos, através de análise dos relatórios de qualidade que tratam dos defeitos gerados diariamente, assim como se estes acabam afetando a qualidade do revestimento cerâmico. Os mesmos foram obtidos no Setor da Escolha, responsável por este controle.

Avaliou-se os relatórios da Linha 1 dos meses de agosto de 2020 a agosto de 2021 e para a Linha 2 e 3 de junho de 2020 a agosto de 2021. Com os dados levantados foi possível averiguar qual setor apresentou mais defeitos no produto, quais os tipos de defeitos e suas quantidades. A partir desta, relacionou-se quais os parâmetros de qualidade do produto podem ser afetados pelo tipo de combustível utilizados na queima.

7.4 QUANTIFICAÇÃO DOS POLUENTES GERADOS ATRAVÉS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Em relação ao monitoramento das emissões atmosféricas do ano de 2021 foi realizado a quantificação dos poluentes gerados na queima dos combustíveis na indústria em questão. Assim como nos dados históricos, o monitoramento foi realizado após o sistema de tratamento das emissões, ou seja, do lavador de gases.

A indústria realiza anualmente monitoramento das emissões atmosféricas, sendo os poluentes monitorados MP, NO_x, SO_x como um dos critérios de sua licença ambiental, como já dito anteriormente. Para a realização da mesma são contratadas empresas certificadas pelos órgãos ambientais licenciadores. A empresa contratada realizou nos dias 21 e 22 de outubro de 2021 as análises de monitoramento das emissões atmosféricas deste ano.

A mesma seguiu as normas técnicas de monitoramento de emissões atmosféricas que são reconhecidas e aceita pelos órgãos ambientais licenciadores, sendo elas:

- L9.061 na qual determina o grau de enegrecimento da fumaça emitida por fontes estacionárias utilizando a escala de Ringhmann reduzida: método de ensaio (CETESB 1979);
- L9.221 em que consiste em determinar pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias – procedimento (CETESB, 1990);
- L9.222 na qual consiste em determinar a velocidade e vazões dos gases em dutos e chaminés de fontes estacionárias – método de ensaio (CETESB, 1992a);
- L9.223 em que consiste determinar a massa molar seca e do excesso de ar do fluxo gasosos para dutos e chaminés de fontes estacionárias: método de ensaio (CETESB, 1992b);
- L9.224 em que consistiu em determinar a umidade dos efluentes de dutos e chaminés de fontes estacionárias: método de ensaio (CETESB, 1993);
- L9.225 que consiste em determinar o material particulado de dutos e chaminés de fontes estacionárias: método de ensaio (CETESB, 1995);
- L9.228 que consistiu em determinar a quantidade de dióxido de enxofre e de névoas de ácido sulfúrico e trióxido de enxofre de dutos e chaminés de fontes estacionárias: método de ensaio (CETESB 1992c);
- Method 3a – em que consiste determinar o oxigênio e o dióxido de carbono nas emissões atmosféricas (US EPA, N.I, s.d.);
- Method 7E – na qual consta a determinação de óxidos de nitrogênio das emissões atmosféricas (US EPA, N.I, s.d.).

7.5 AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTOS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EXISTENTES

Para a avaliação dos sistemas de tratamentos existentes das emissões atmosféricas foram realizadas pesquisas em literatura sobre a eficiência dos equipamentos utilizados, análise das características dos combustíveis usados,

relacionando estes dados a quantidade de poluentes emitidos, tanto na análise realizada como nos dados históricos de emissões atmosféricas da empresa levantados, comparando com a legislação vigente. A partir das informações levantadas permitiu avaliar a eficiência do sistema de tratamento das emissões atmosféricas existentes, assim como propor melhorias.

8 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

8.1 HISTÓRICO DE MONITORAMENTO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS E RELAÇÃO COM OS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS

Após levantamento dos dados das emissões atmosféricas dos anos de 2013 a 2020 e verificação de quais parâmetros que a indústria deve fazer monitoramento por conta da sua condicionante, que consistiu em MP, SO_x e NO_x, foi possível gerar gráficos para análise de emissões estão atendendo as legislações.

É importante lembrar que nos anos de 2013 a 2020 o combustível utilizado pela indústria foi o CVP, e que o mesmo só foi trocado por razões econômicas.

Os poluentes monitorados durante os anos de 2013 a 2020 foram MP, NO_x, NO₂, SO_x, SO₂, sendo que nos anos de 2013 a 2017 foi monitorado também emissões de SO₃+H₂SO₄.

Para análise de dados das emissões atmosféricas utilizou-se como referência a resolução SEMA nº 16 de 2014, Art. 22, inciso III, aplicada a potência térmica nominal MW de 10 e 50 (PARANÁ, 2014).

A seguir apresenta-se os levantamentos históricos das emissões atmosféricas por linha de processo.

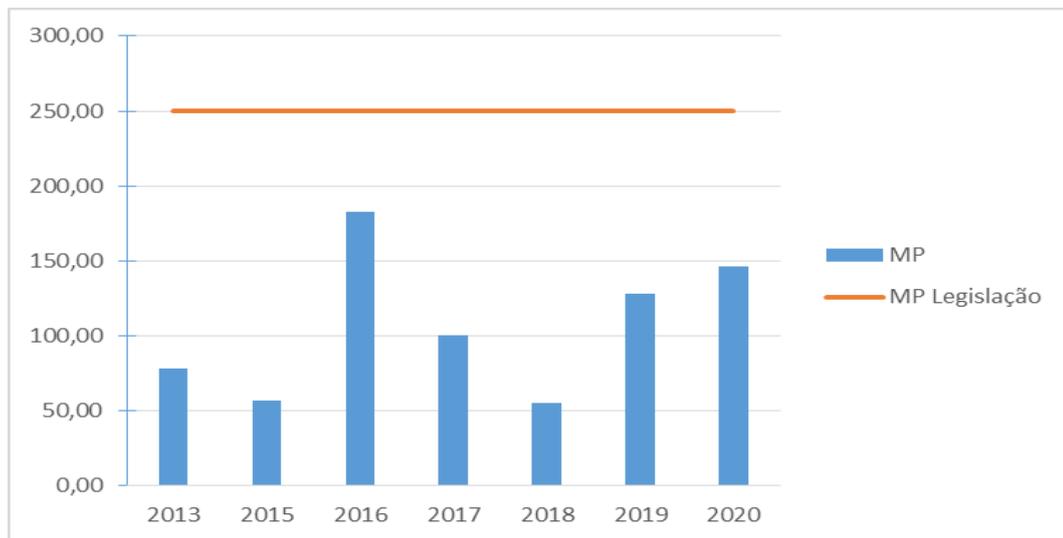
8.1.1 Emissões atmosférica do lavador de gases Linha 1

Para analisar a Linha 1, deve-se lembrar que a mesma está em operação desde 2009, entretanto os dados obtidos do monitoramento se deram a partir de 2013, com dois monitoramentos no ano de 2018.

Para verificar se as emissões atmosféricas estão dentro do que preconiza a resolução SEMA nº 16 de 2014 (PARANÁ, 2014), como já relatado na metodologia utilizou-se o Art. 22 inciso III onde o mesmo diz: “geração de calor ou energia utilizando carvão mineral, xisto sólido, coque e outros combustíveis assemelhados” (PARANÁ, 2014). A indústria se enquadra para potência térmica nominal de 10 a 50 MW. Segundo a mesma não deve passar de 250 mg/Nm³ para emissões de MP.

Pode-se observar na Figura 10 os dados obtidos do lavador de gases da Linha 1 para emissão de MP anos de 2013 a 2020. Como observado no gráfico as emissões estão dentro do padrão estabelecido.

Figura 10 – Emissão de MP (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 1



Fonte: da autora (2021)

Sobre as emissões de óxidos de enxofre a resolução SEMA nº 16 de 2014 trata que os mesmos são a soma dos “SO₂ + SO₃, expresso como SO₂”.

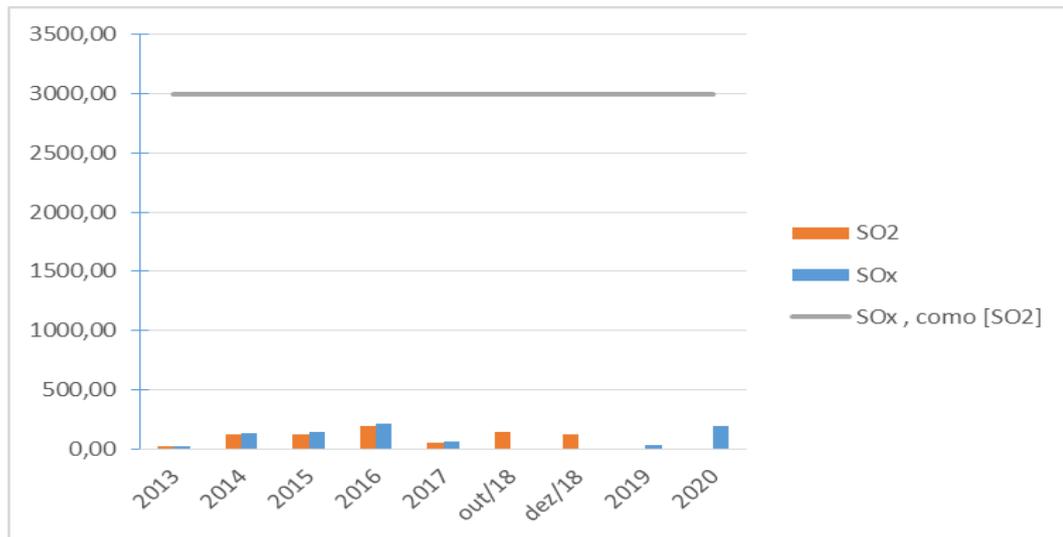
Para a emissão de SO_x, segundo Art. 22 inciso III da resolução SEMA nº 16 de 2014 não devem passar de 3000 mg/Nm³.

Nos relatórios avaliados haviam os monitoramentos de SO_x, SO₂ e SO₃ + H₂SO₄, podendo ser averiguados nas Figura 11 e Figura 12. Salienta-se que no ano de 2018 não foi monitorado o SO_x em todas as linhas, podendo ser justificado pela junção SO₃, SO₂ como preconiza a resolução SEMA nº 16/2014, expressando-se somente como SO₂.

É importante destacar que no CVP se encontram algumas substâncias dentre elas o enxofre, mas seus níveis dependem do tipo de petróleo processado (PETROBRAS, 2019). Assim sua principal característica é ter baixo teor de enxofre, e um alto teor de carbono fixo (PORTAL, 2015 apud HOFFMANN, PAVEI, 2016).

Fato este confirmado nos resultados das baixas emissões de SO_x assim como uma certa regularidade na sua emissão.

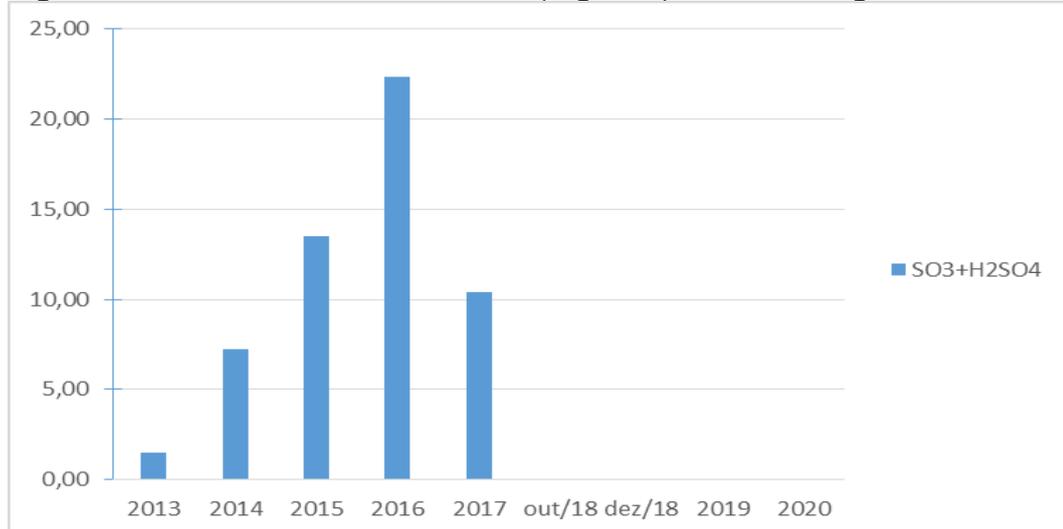
Figura 11 – Emissão de SO_x (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 1



Fonte: da autora (2021)

Com relação a emissão do trióxido de enxofre e o ácido sulfúrico não se tem padrões para suas emissões em legislação, impossibilitando uma análise mais efetiva e, conforme dito anteriormente, após o ano de 2017 não houve mais o seu monitoramento como verificado na Figura 12 a seguir.

Figura 12 – Emissão de SO₃+H₂SO₄ (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 1



Fonte: da autora (2021)

Sobre os óxidos de nitrogênio a resolução SEMA nº 16 de 2014 trata que os mesmos são a soma dos “NO + NO₂, expresso como NO₂” (PARANÁ,2014).

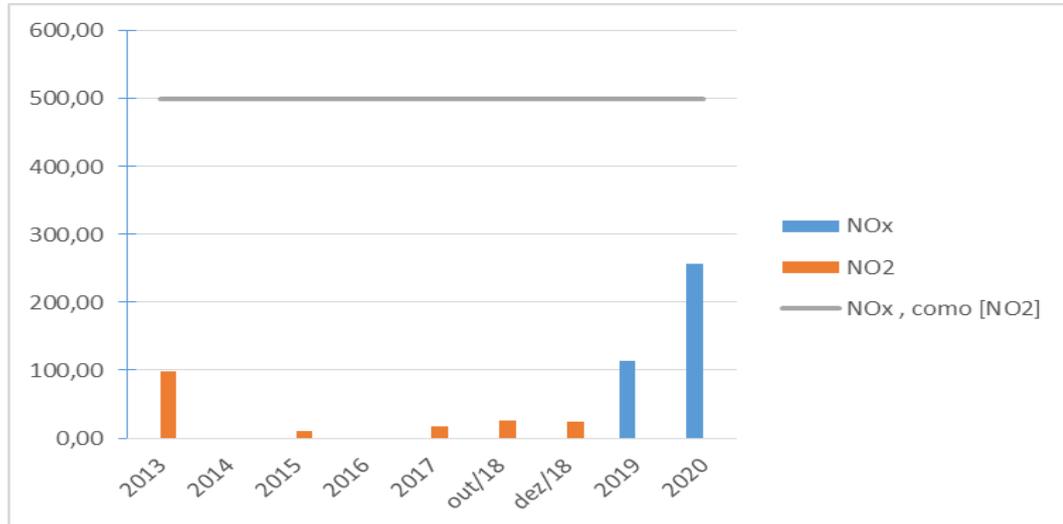
Para a emissão de NO_x , segundo Art. 22 inciso III da resolução SEMA nº 16 de 2014 não devem passar de 500 mg/Nm^3 .

No CVP também são encontradas quantidades de nitrogênio em sua composição (PETROBRAS, 2019), mas a formação de NO_x pode se dar pela reação do gás nitrogênio com o oxigênio na presença de altas temperaturas na fornalha (MILLER E SPOOLMAN, 2016).

Como observado Figura 13 nos anos de 2013 a 2018 realizava-se as análises de NO_2 porém a partir do ano de 2019 passou-se a analisar NO_x .

Nota-se que as emissões de NO_x não tem regularidade como a de SO_x , entretanto verifica-se um pico de liberação de NO_x no ano de 2020. Guimarães, (2016) traz que os óxidos de nitrogênio, também conhecidos como NO_x , são basicamente o somatório de $\text{NO} + \text{NO}_2$, e como tratado por Gomes (2010), a razão de NO_2 é menor que 10% do total de NO emitido, podendo explicar o seu pico de emissão.

Figura 13 – Emissão de NO_x (mg/Nm^3) Lavador de gases Linha 1



Fonte: da autora (2021)

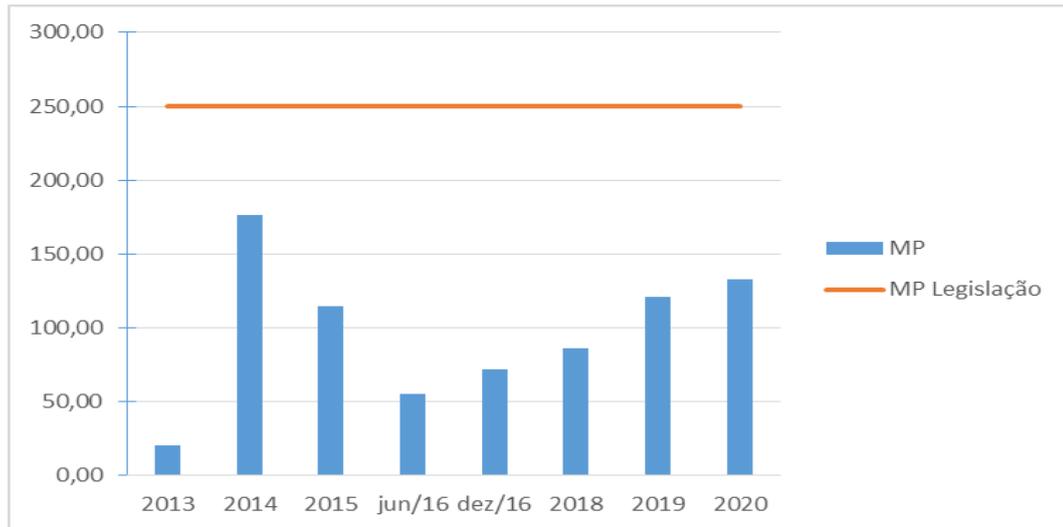
8.1.2 Emissões atmosférica da Lavador de gases Linha 2

Referente a Linha 2, como dito anteriormente, o combustível utilizado é o CVP desde que entrou em operação em 2011, entretanto só a partir de 2013 que se tem dados do monitoramento. Os dados históricos de emissão levantados foram de 2013 a 2020, sendo que 2014 e 2016 houve duas análises e não há dados do ano

de 2017. Segundo a resolução SEMA nº 16 de 2014 as emissões de MP não devem passar de 250 mg/Nm³.

Analisando as emissões de MP do lavador de gases da Linha 2, observa-se na Figura 14 que estão dentro dos padrões de lançamento atmosféricos.

Figura 14 – Emissão de MP (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 2

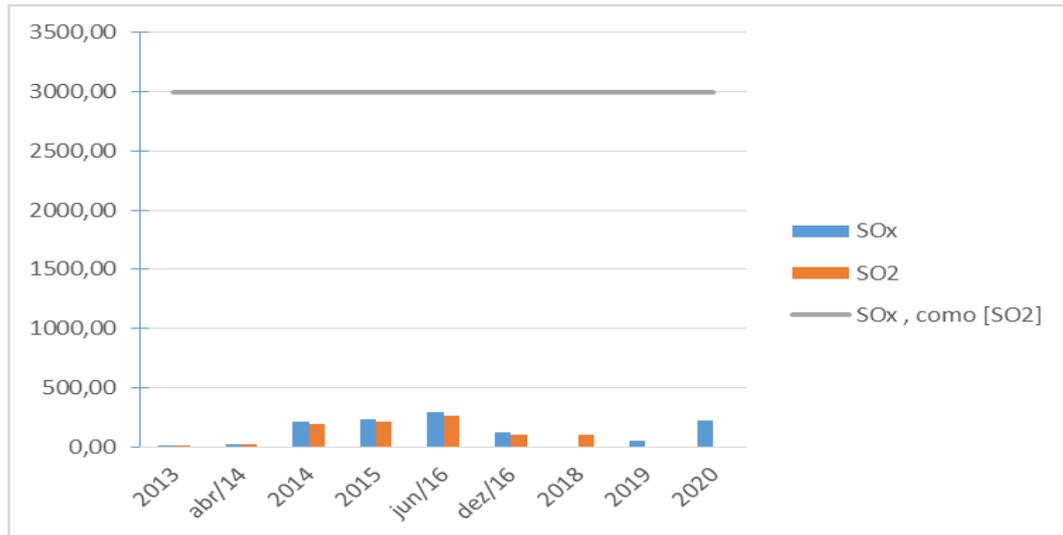


Fonte: da autora (2021)

Sobre as emissões de óxidos de enxofre (SO_x, SO₂ e SO₃ + H₂SO₄), verificam-se os resultados históricos nas Figura 15 e Figura 16. Salienta-se que também não houve o monitoramento no ano de 2018.

Com relação as emissões de óxidos de enxofre, pode-se notar que a quantidade de SO₂ é sempre um pouco menor do que SO_x, explicando assim o somatório de “SO₂ + SO₃, expresso como SO_x”.

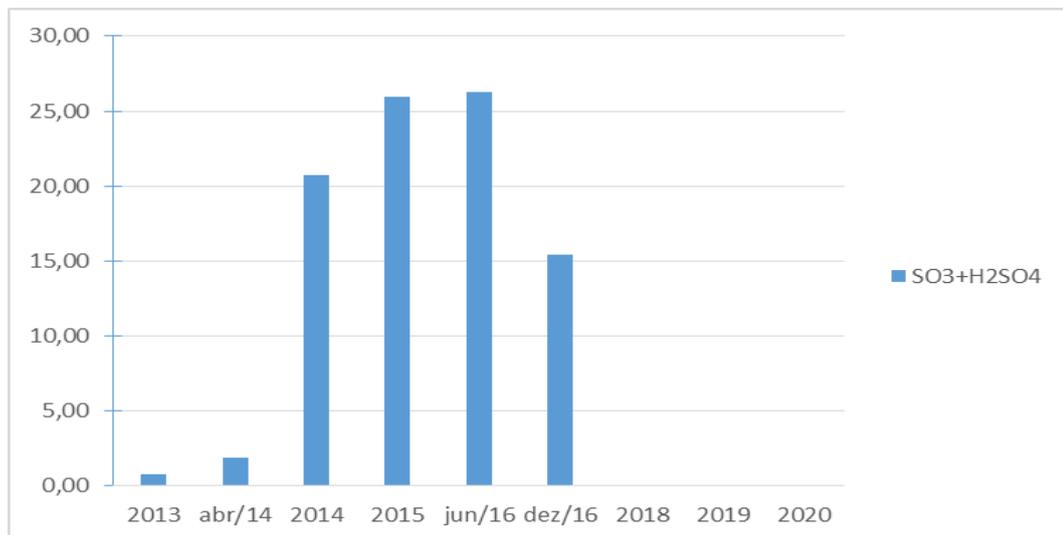
Figura 15 – Emissão de SO_x (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 2



Fonte: da autora (2021)

Na Linha 2 também houve o monitoramento de e SO₃ + H₂SO₄, no período de 2013 a 2016 conforme Figura 16 que por não se ter padrões para suas emissões em legislação, impossibilitou uma análise mais efetiva.

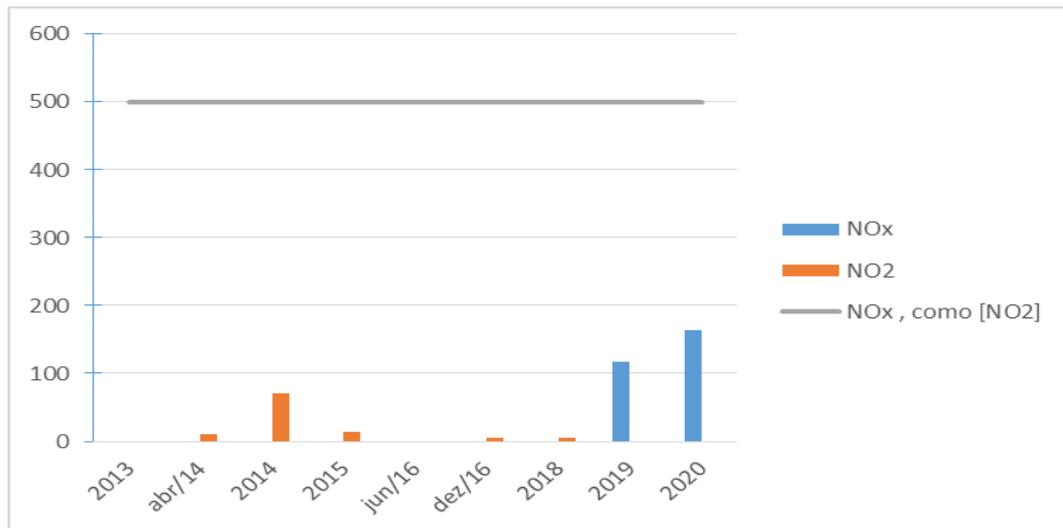
Figura 16 – Emissão de SO₃+H₂SO₄ (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 2



Fonte: da autora (2021)

Retratando os resultados das emissões de óxido de nitrogênio partir dos dados obtidos do histórico de emissões de NO_x, observou-se como disposto na Figura 17 que suas emissões tiveram um pico em 2019 e 2020, mas todas estão dentro dos padrões de lançamento atmosférico.

Figura 17 – Emissão de NO_x (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 2



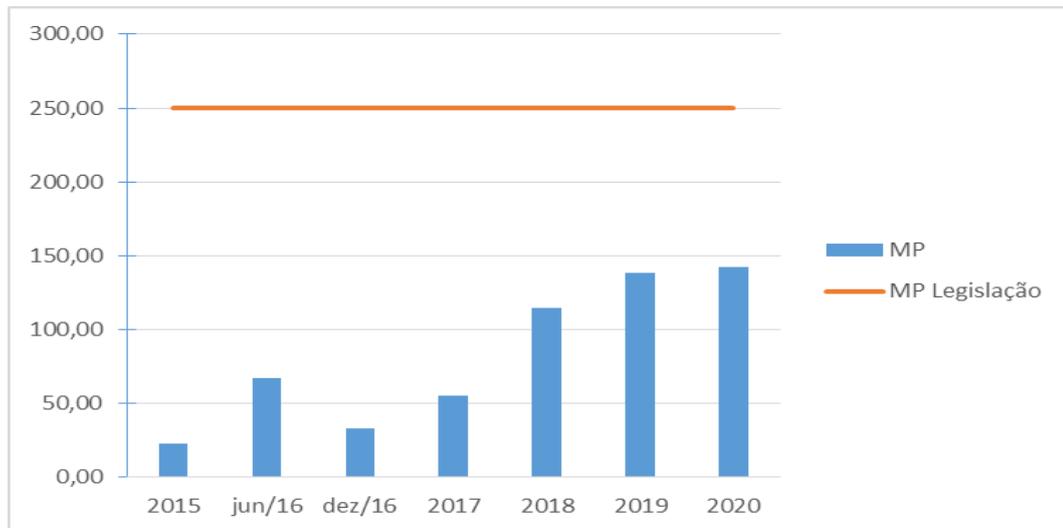
Fonte: da autora (2021)

8.1.3 Emissões atmosférica do Lavador de gases Linha 3

A Linha 3 da indústria em questão foi construída em 2015, portanto é a linha mais nova, sendo que o monitoramento das emissões atmosféricas foi realizado no mesmo ano. Sendo que desde de que entrou em operação seu combustível é o CVP.

Sobre as emissões de MP é possível verificar na Figura 18 que ela tem uma certa regularidade nas emissões do ano de 2015 a 2017, mas a partir de 2018 ela começou aumentar até 2020. Mas todas então dentro dos padrões de lançamento atmosféricos.

Figura 18 – Emissão de MP (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 3

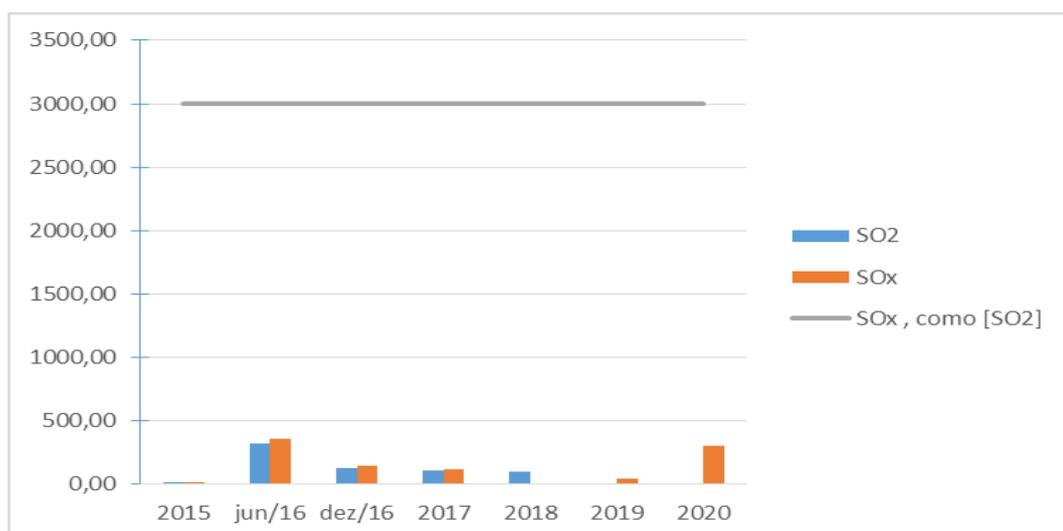


Fonte: da autora (2021)

Se tratando das emissões de óxidos de enxofre, que é o somatório de “SO₂ + SO₃, expresso como SO_x”, como disposto na resolução SEMA nº 16 de 2014, foram identificados nos dados históricos o monitoramento do SO_x de 2015 a 2020.

E como disposto na Figura 19 nota-se que se teve um pico na suas emissões no ano de 2016. Mas seus lançamentos então dentro do que preconiza a legislação.

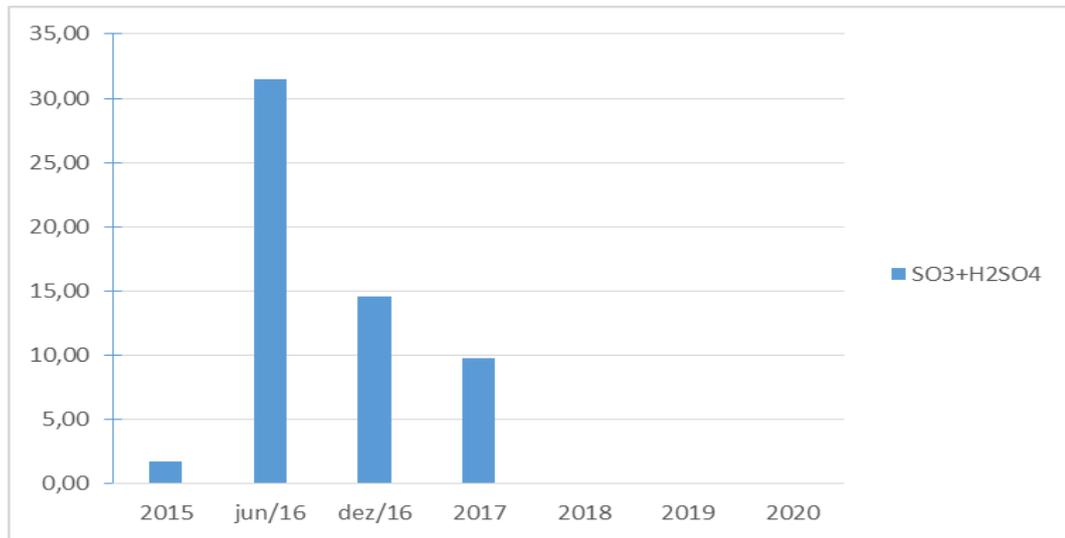
Figura 19 – Emissão de SO_x (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 3



Fonte: da autora (2021)

Como já citado anteriormente não se tem limite máximo para o trióxido de enxofre e o ácido sulfúrico, não permitindo uma análise efetiva. Verifica-se na Figura 20 as emissões da Linha 3 desses poluentes.

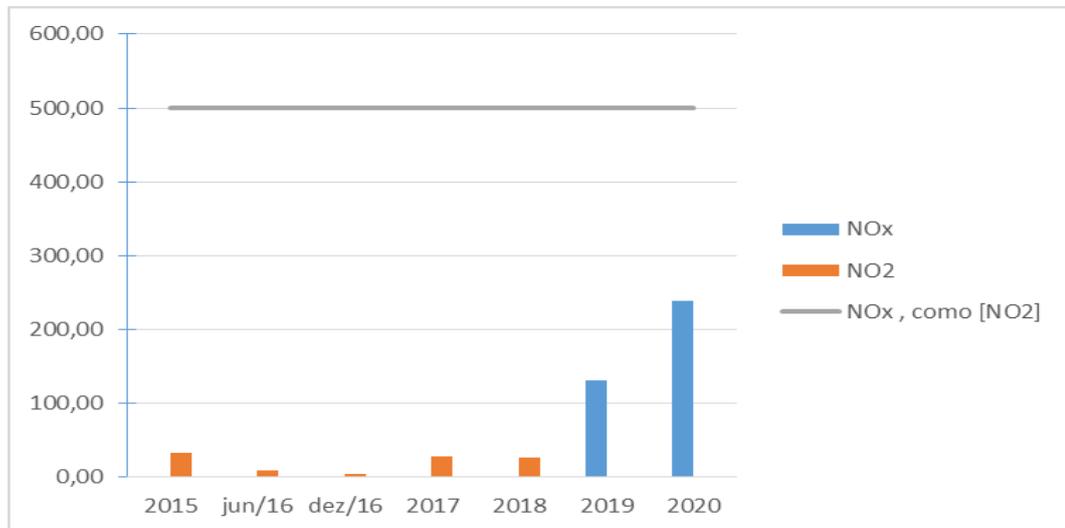
Figura 20 – Emissão de SO₃+H₂SO₄ (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 3



Fonte: da autora (2021)

E como observado na Figura 21 as emissões também tiveram um pico no ano de 2020. E todos os lançamentos estão dentro do que é preconizado a legislação

Figura 21 – Emissão de NO_x (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 3



Fonte: da autora (2021)

8.1.4 Dos resultados

Para afim de entendimento todos os monitoramentos das emissões foram realizados após o tratamento dos gases, ou seja, após o lavador de gases. Se tratando das emissões de MP, pode ser explicada por conta da conversão da barbotina em pó atomizado, que ocorre no atomizador. Após a sua conversão ainda se tem resquícios de pó dentro do mesmo, que é retirado via exaustão passando pelos ciclones, para recuperar o excedente de pó que ainda se encontra no ar dentro do atomizador. Posteriormente esse ar vai para o lavador de gases e em seguida emitido para a atmosfera (BRISTOT, 1996). O ciclone é um equipamento que tem uma eficiência para reter partículas em 50 a 90%, dependendo do tamanho das mesmas, variando de 5 a 25 μm . As partículas que não estão nesta escala deslocam-se até o lavador de gases, que tem um rendimento acima de 95% para partículas com diâmetro médio de 0,2 μm (GOMES, 2010), sendo que partículas acima desse valor, são emitidas na atmosfera. Mas como observado nos gráficos todos os anos a empresa vem atendendo a legislação ambiental vigente.

Com relação a emissão de SO_x e NO_x , todos estão dentro dos limites estabelecidos pela resolução SEMA 16 de 2014 Capítulo III, Seção III. Subseção IV, Art. 68, Item IV (a), (b) por conta de o combustível utilizado ser CVP e o mesmo contém concentrações baixas de enxofre e nitrogênio.

Entretanto, como mencionado por Sevá Filho; Santi, (2003 apud França 2010), a queima de CVP pode produzir dioxinas e furanos, substâncias que a OMS reconhece como carcinogênicas. Outro ponto importante a salientar é que a queima de CVP gera também HPA's, contudo a empresa não faz monitoramento impossibilitando saber se está ocorrendo emissão. Salienta-se que nas condicionantes da licença não é solicitado este monitoramento e a resolução SEMA16 de 2014 (PARANA, 2014) não traz limites máximos para a sua emissão.

Importante salientar que a empresa utilizada também o gás natural como combustível, embora durante o estudo realizado estavam utilizando o carvão e o CVP assim como no histórico levantado. Entretanto neste caso deve-se ficar atento na formação de NO_x pois é o poluente que pode ter emissões mais consideráveis (CETESB, 2015), sendo importante a realização deste monitoramento, quando do

uso deste combustível, a fim de avaliar se o mesmo está atendendo os limites de emissão, conforme legislação vigente.

8.2 INTERFERÊNCIA DO TIPO DE COMBUSTÍVEL NO PRODUTO FINAL

Para a obtenção desses resultados realizou-se o levantamento dos dados de qualidade do revestimento cerâmico no setor da escolha, através dos relatórios diários sobre a qualidade.

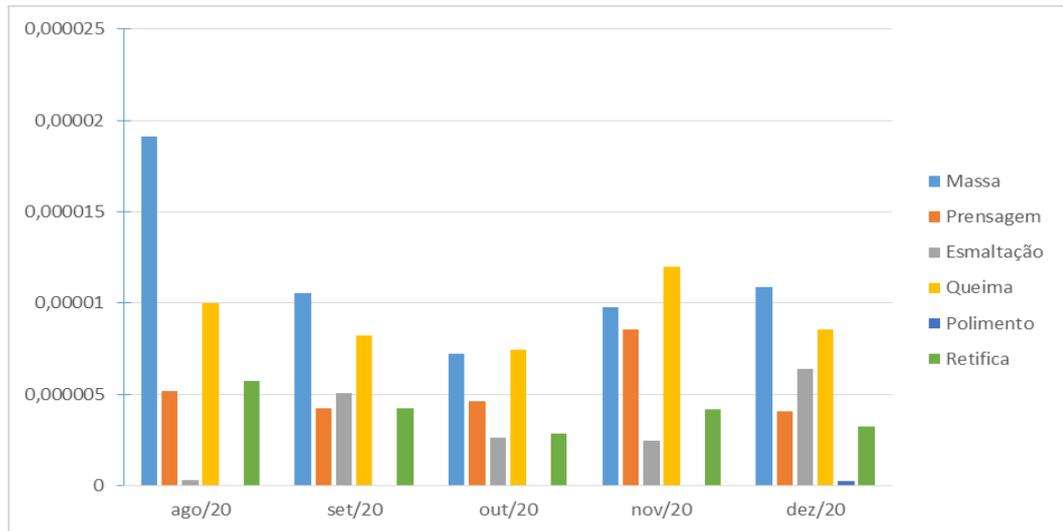
A empresa realiza 8 amostragens durante os turnos (turno 1 ocorre das 5 às 13 horas, turno 2 das 13 às 21 horas, turno 3 das 21 às 5 horas) por cada máquina, sendo que há 2 máquinas por linha (linha 1a, linha 1b, linha 2a, linha 2b, linha 3a e linha 3b), totalizando 16 máquinas na indústria em questão. São produzidos 100 m² de revestimento cerâmicos de cada máquina, totalizando 1600 m² placas cerâmicas por turno. A partir desta amostragem foi possível realizar o levantamento de dados que será abordado.

8.2.1 Levantamento dos dados de qualidade do revestimento cerâmico da Linha 1

Primeiramente foi analisado qual setor apresentou resultados de mais defeitos no produto final para entender a necessidade da realização da pesquisa. Verifica-se pelas Figura 22 e Figura 23 que na Linha 1 o setor que mais apresentou defeitos no produto foi setor de “Massa”. Ressalta-se que o setor de Massa abrange preparação da massa, fôrnilha e atomização.

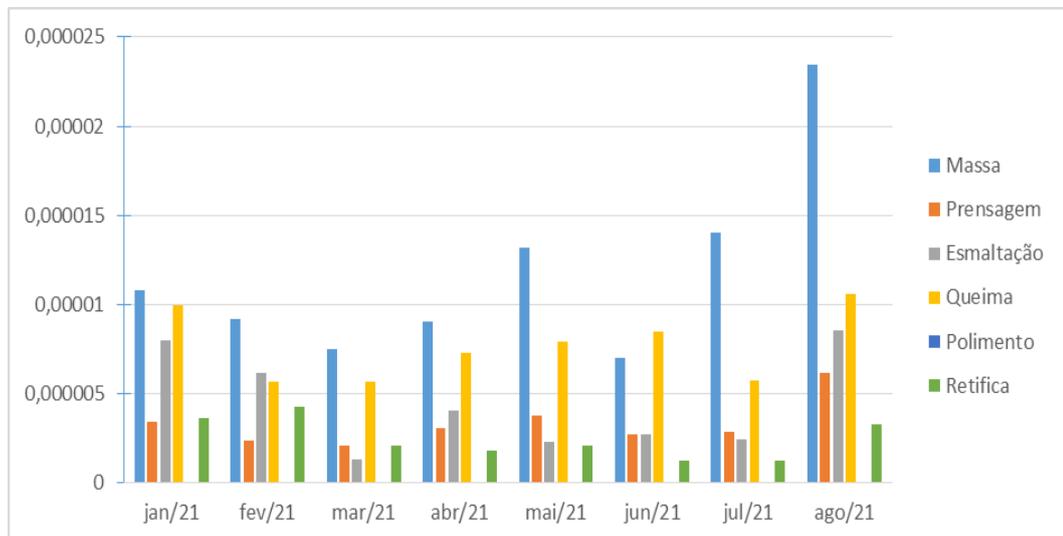
Importante destacar que na Linha 1 não há setor de polimento, sendo produzido assim apenas porcelanato técnico esmaltado.

Figura 22 – Defeitos no produto final por setor na Linha 1, ano de 2020 em percentual



Fonte: da autora (2021)

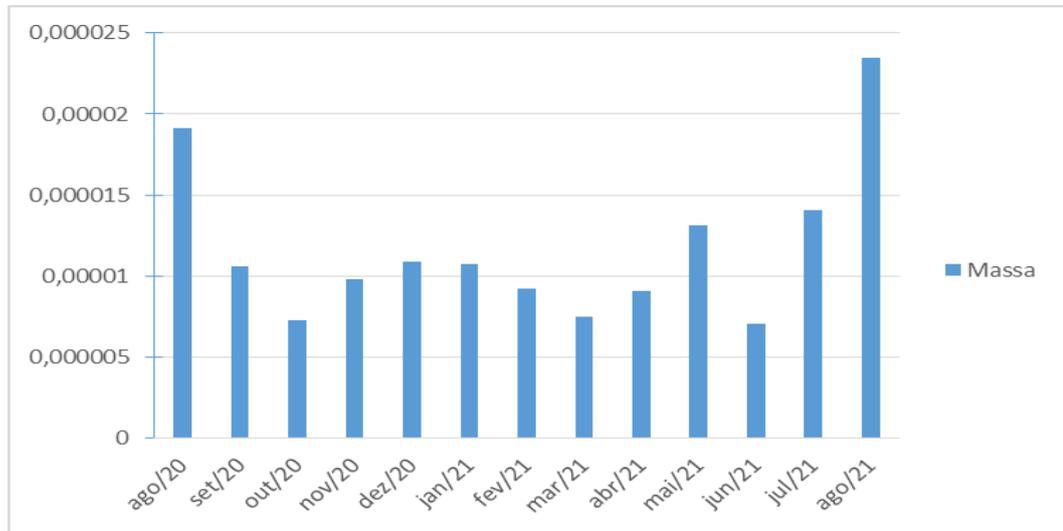
Figura 23 - Defeitos no produto final por setor na Linha 1, ano de 2021 percentual



Fonte: da autora (2021)

Como observado na Figura 24 se tem uma certa regularidade nos defeitos no setor da “Massa”, entretanto verifica-se picos após a troca de combustível mês de janeiro/21 de CVP para carvão/cavaco, embora não se possa afirmar sua influência sem um estudo das características das matérias primas utilizadas.

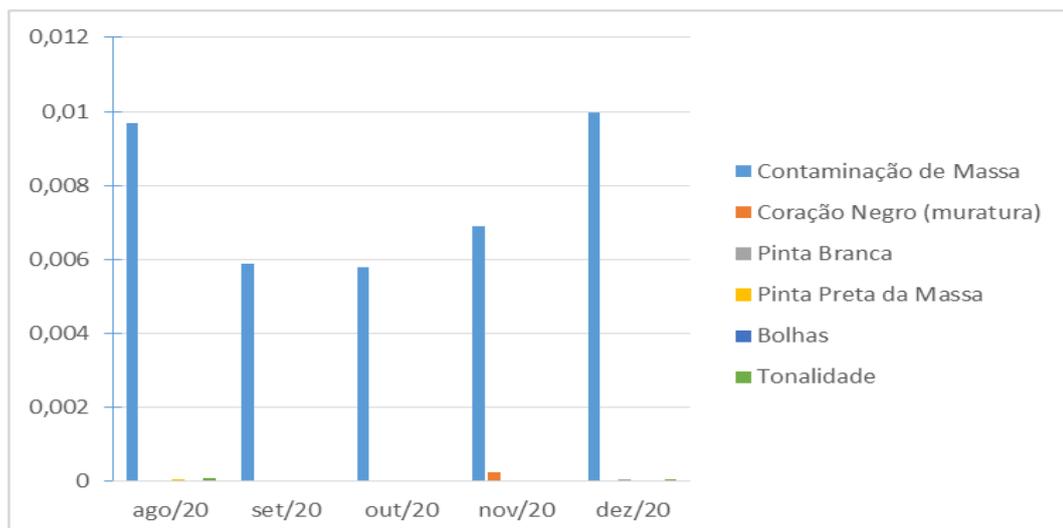
Figura 24 – Defeito no produto no setor de “Massa” Linha 1 nos anos de 2020 e 2021 em percentual



Fonte: da autora (2021)

Após análise dos defeitos apresentados no setor de “Massa”, analisou-se quais os defeitos que mais ocorriam, conforme apresentados nas Figura 25 e Figura 26.

Figura 25 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 1 em 2020 em percentual

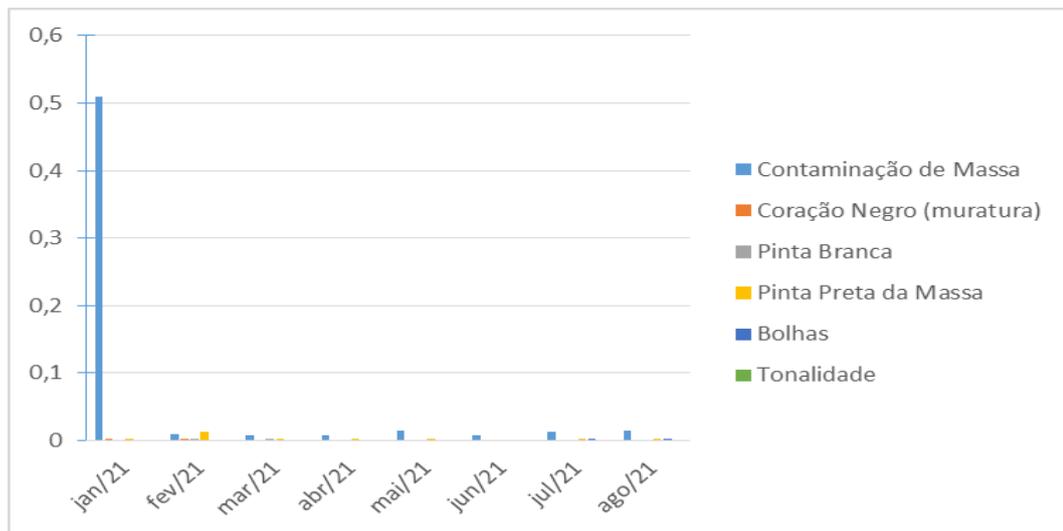


Fonte: da autora (2021)

Nota-se que o maior percentual de defeitos refere-se a contaminação da massa, conforme Figura 26. Verifica-se também seu pico no mês de janeiro/21, mês

em que houve a troca de combustível, como relatado anteriormente, porém precisa de mais estudos para confirmação, efetivamente.

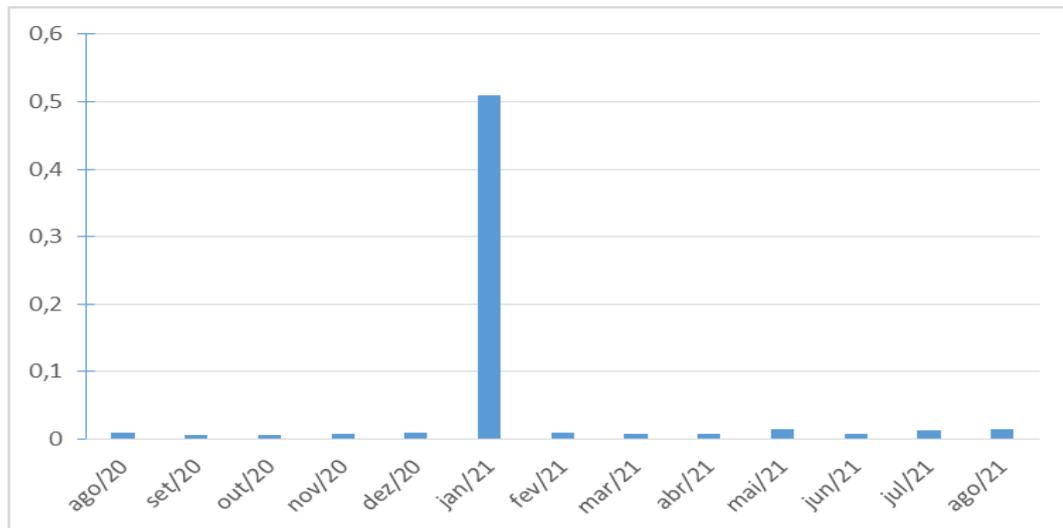
Figura 26 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 1 em 2021 em percentual



Fonte: da autora (2021)

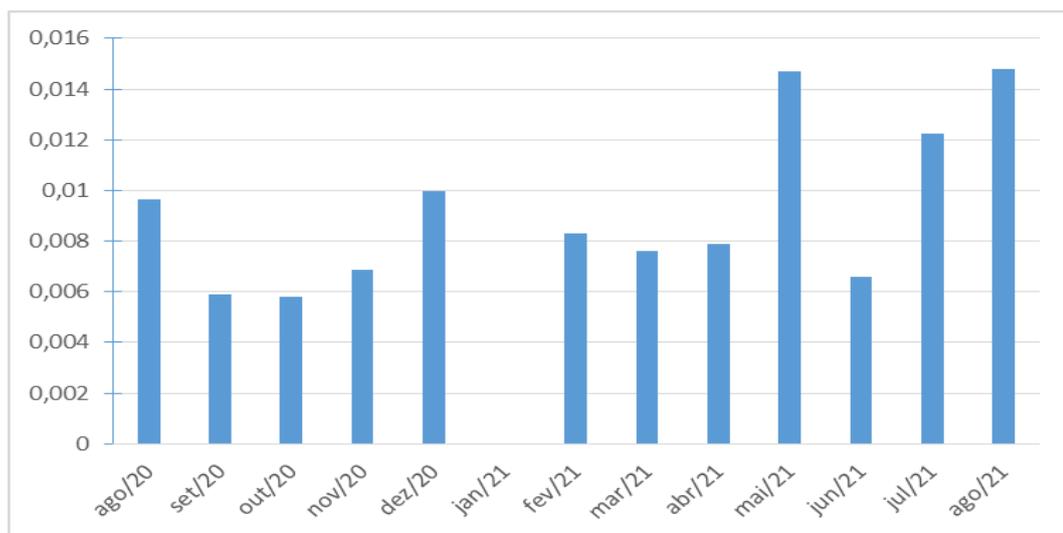
Avaliando os defeitos no produto no setor de “Massa” da Linha 1, no que se refere a contaminação de massa nos anos de 2020 e 2021, como apresentado na Figura 27, é possível perceber também que no mês que se teve a troca de combustível se teve um pico em seus defeitos, entretanto outros fatores precisam ser avaliados. Na Figura 28 pode-se observar que sem o mês de janeiro/21 os meses de pico de defeito foram maio, junho e agosto de 2021.

Figura 27 – Contaminação de massa na Linha 1 em percentual



Fonte: da autora (2021)

Figura 28 – Contaminação de massa na Linha 1 em percentual



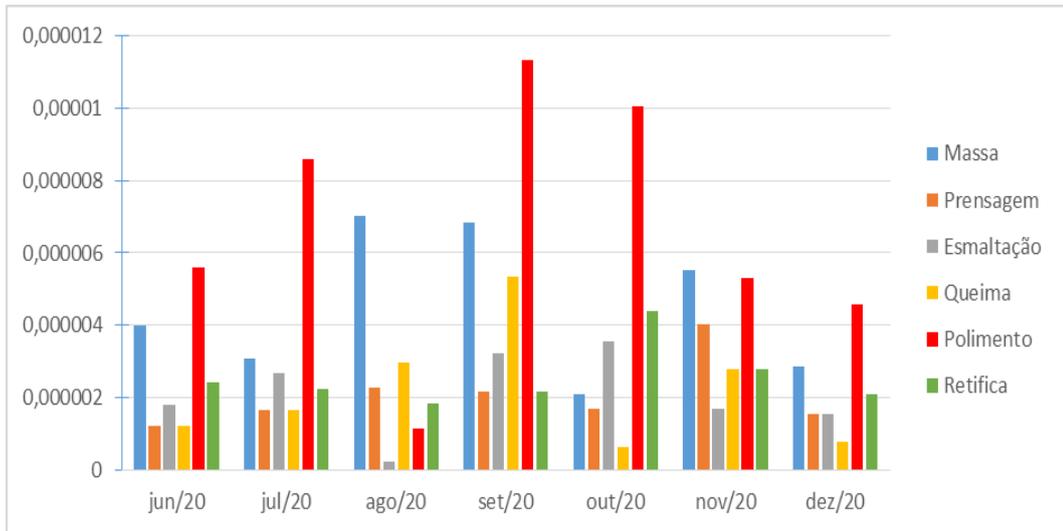
Fonte: da autora (2021)

8.2.2 Levantamento dos dados de qualidade do revestimento cerâmico da Linha 2

Foi realizada a análise na Linha 2 a fim de se definir qual setor apresentou mais defeito no produto final. É importante destacar que nesta linha são produzidos os porcelanatos HD polidos, na qual há necessidade do setor de polimento.

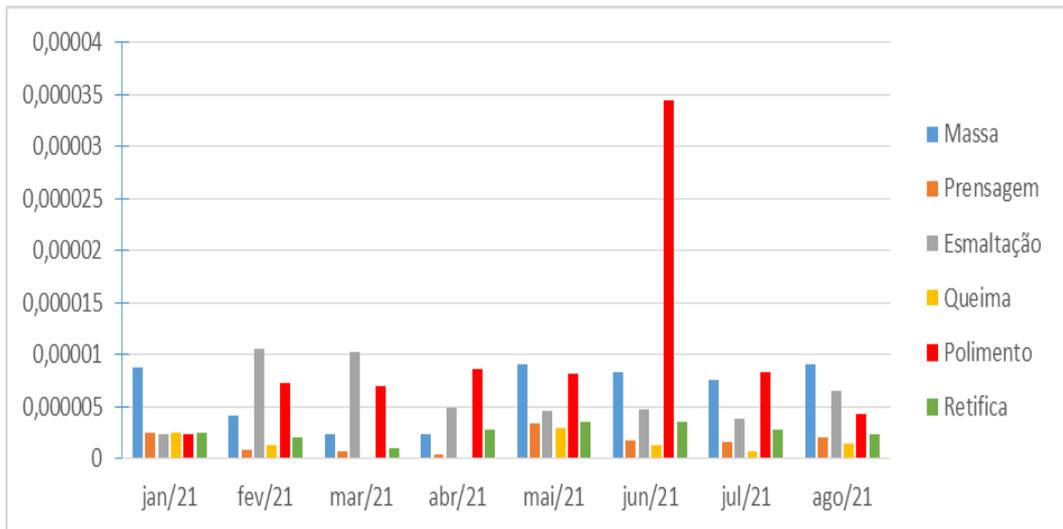
Pode-se observar nas Figura 29 e Figura 30 que mais de um setor apresentando problemas de defeitos no produto final.

Figura 29 - Defeitos no produto final por setor na Linha 2, ano de 2020 em percentual



Fonte: da autora (2021)

Figura 30 - Defeitos no produto final por setor na Linha 2, ano de 2021 em percentual



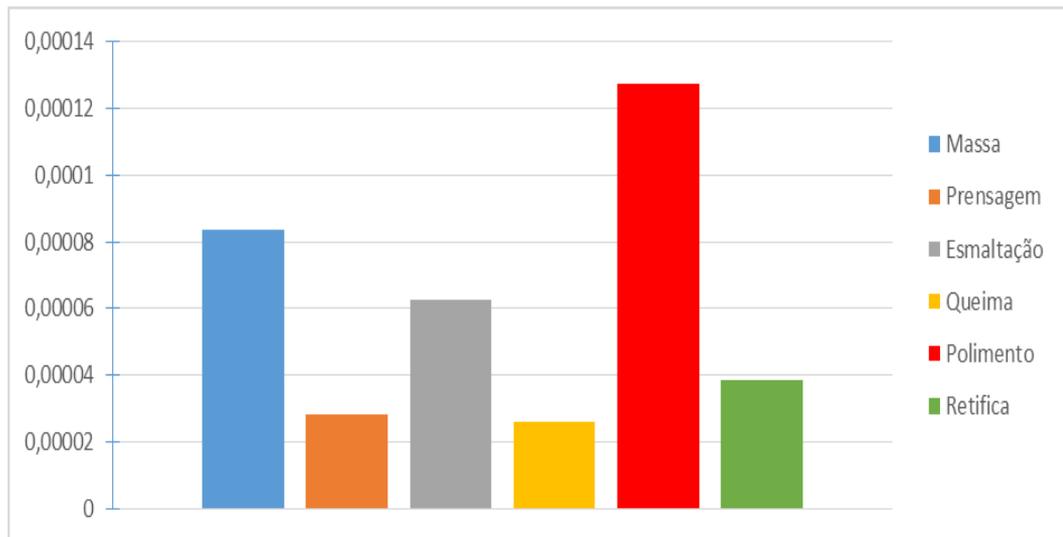
Fonte: da autora (2021)

Para constatar qual setor apresentou mais defeitos no produto final, somou-se os defeitos nos períodos de junho de 2020 a agosto de 2021, conforme

apresentados na Figura 31, verificando-se que os setores que apresentaram mais defeitos foram o “Polimento” e “Massa”.

Salienta-se que no setor “Massa” houve também a troca de combustível no ano de 2021 e a mesma será analisada e comparada com a Linha 1, posteriormente.

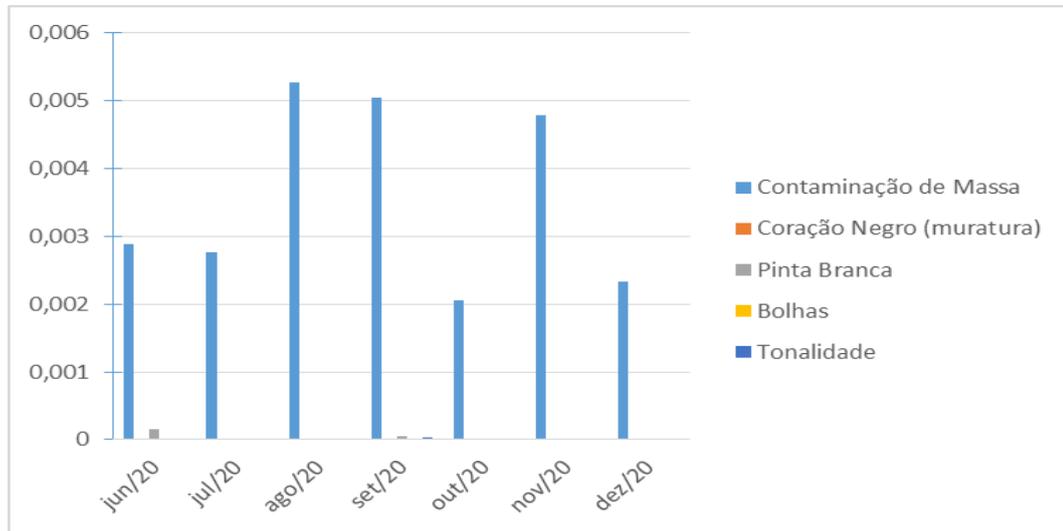
Figura 31 – Setores que mais apresentam defeitos na Linha 2 em percentual



Fonte: da autora (2021)

A Linha 2 apresentou o defeito contaminação de massa, sendo ele o mais citado e o de maior volume como observado na Figura 32.

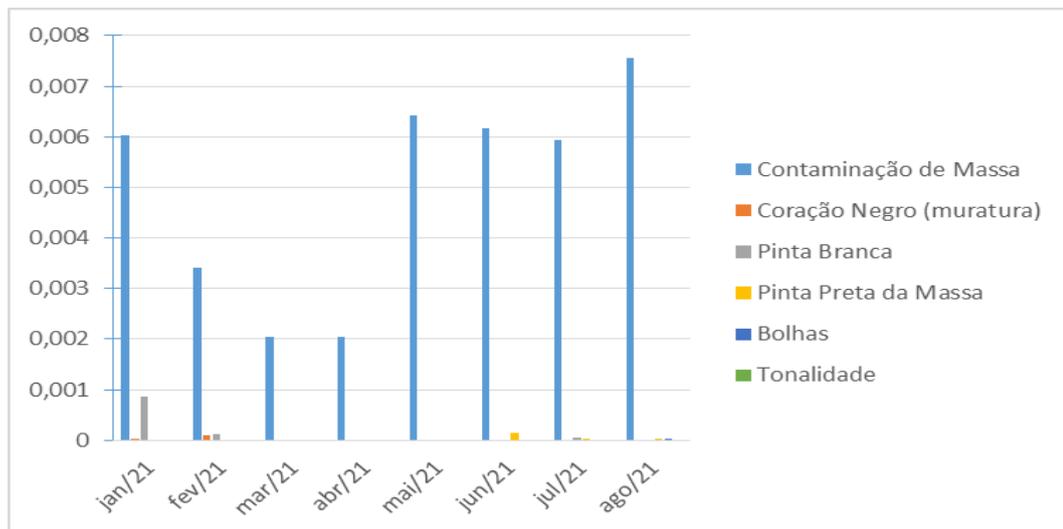
Figura 32 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 2 em 2020 em percentual



Fonte: da autora (2021)

E como observado na Figura 33, no ano de 2021 o defeito mais recorrente e de maior quantidade também é o de contaminação de massa.

Figura 33 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 1 em 2021 em percentual

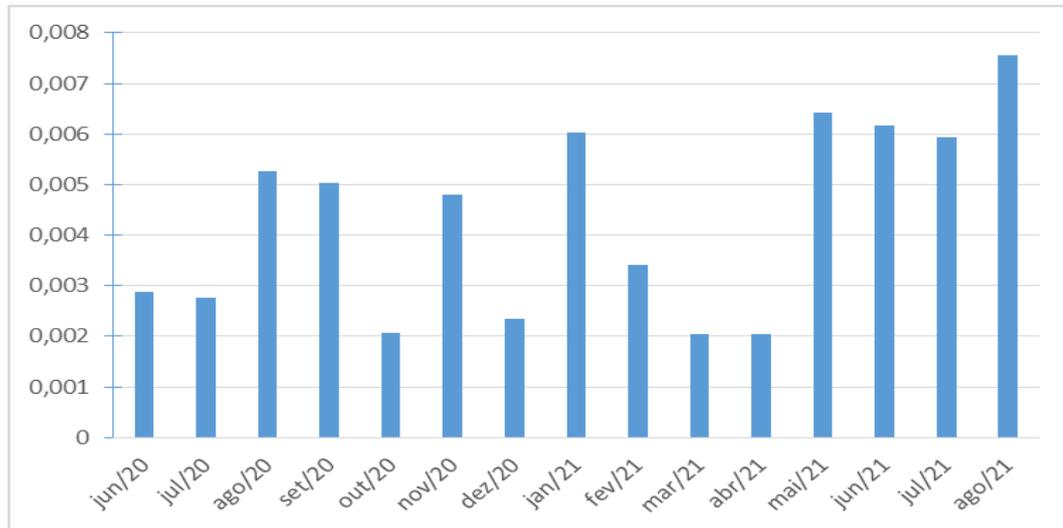


Fonte: da autora (2021)

A partir da Figura 34 pode-se constatar que houve aumento do defeito depois do mês de janeiro/21, posterior a troca de combustível. E como na Linha 1, a

Linha 2 também apresentou elevado número de defeitos no produto nos meses de janeiro, maio, junho, julho e agosto/21.

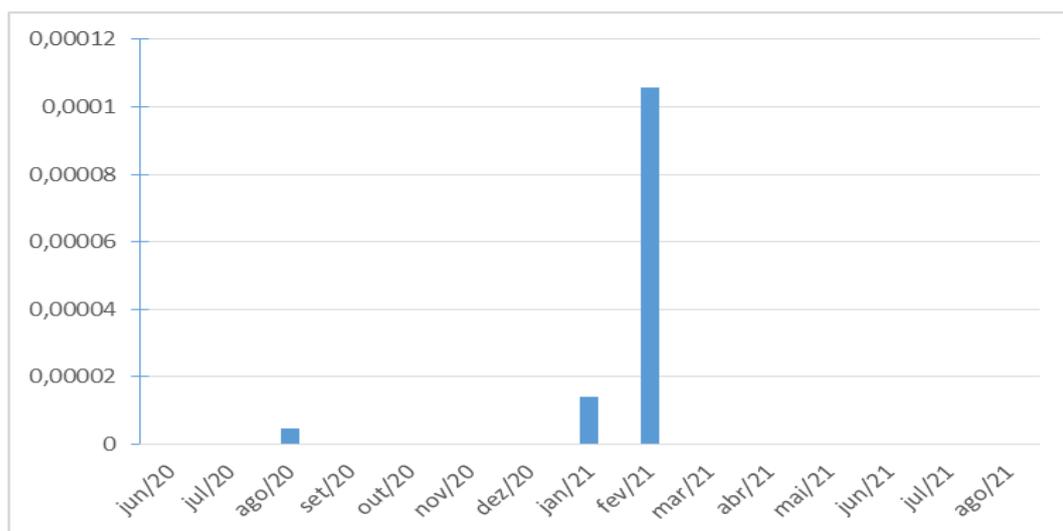
Figura 34 – Contaminação da massa na Linha 2 em percentual



Fonte: da autora (2021)

Destaca-se aqui o defeito coração negro na Figura 35, mesmo em percentual baixo, verificou-se um aumento nos meses de janeiro e fevereiro/21, após a troca de combustível.

Figura 35 – Coração negro Linha 2 em percentual



Fonte: da autora (2021)

8.2.3 Levantamento dos dados de qualidade do revestimento cerâmico da Linha 3

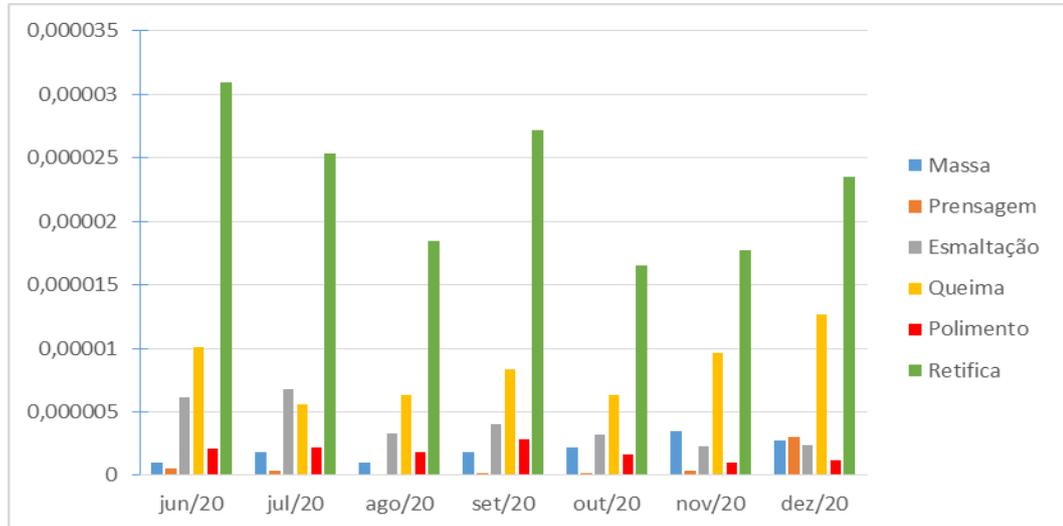
A Linha 3 foi a única que manteve o mesmo combustível no período analisado, no caso o CVP, assim pode-se comparar esta linha com as Linhas 1 e 2. Também pode-se comparar se houve aumento de defeitos ou se vem mantendo os níveis como o ano anterior.

Primeiramente verificou-se qual setor apresentou mais defeitos no produto final. Nas

Figura 36 e Figura 37 é possível averiguar os setores e os defeitos apresentados.

No ano de 2020, como mostra a Figura 36, o setor que mais apresentou defeito foi “Retifica”.

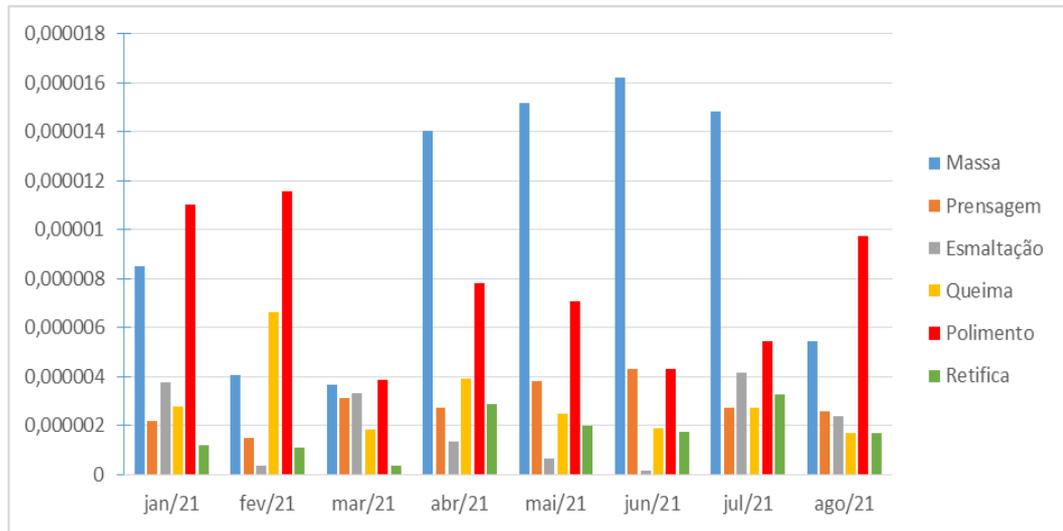
Figura 36 - Defeitos no produto final por setor na Linha 3, ano de 2020 em percentual



Fonte: da autora (2021)

No ano de 2021 verifica-se um aumento no número de defeitos nos produtos nos meses de abril, maio, junho e julho no setor da “Massa” como mostra Figura 37.

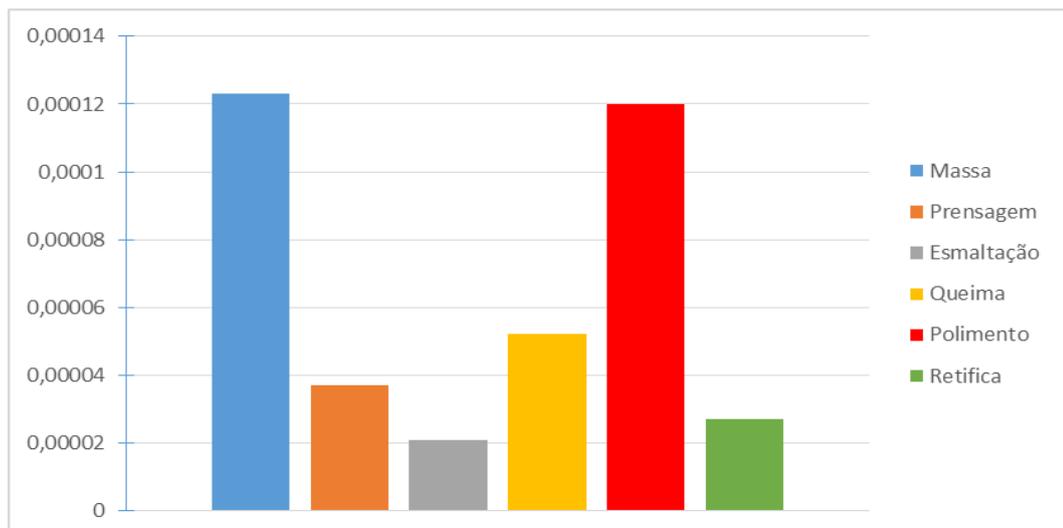
Figura 37 - Defeitos no produto final por setor na Linha 3, ano de 2021 em percentual



Fonte: da autora (2021)

Para constatar qual setor apresentou mais defeito somou-se os defeitos do período de junho de 2020 a agosto de 2021, constatando-se que o setor que apresentou maior quantidade de defeitos foi o da “Massa”, como mostra Figura 38, importante salientar que também foi elevado no setor “Polimento”.

Figura 38 – Setores que mais apresentam defeitos na linha 3 em percentual

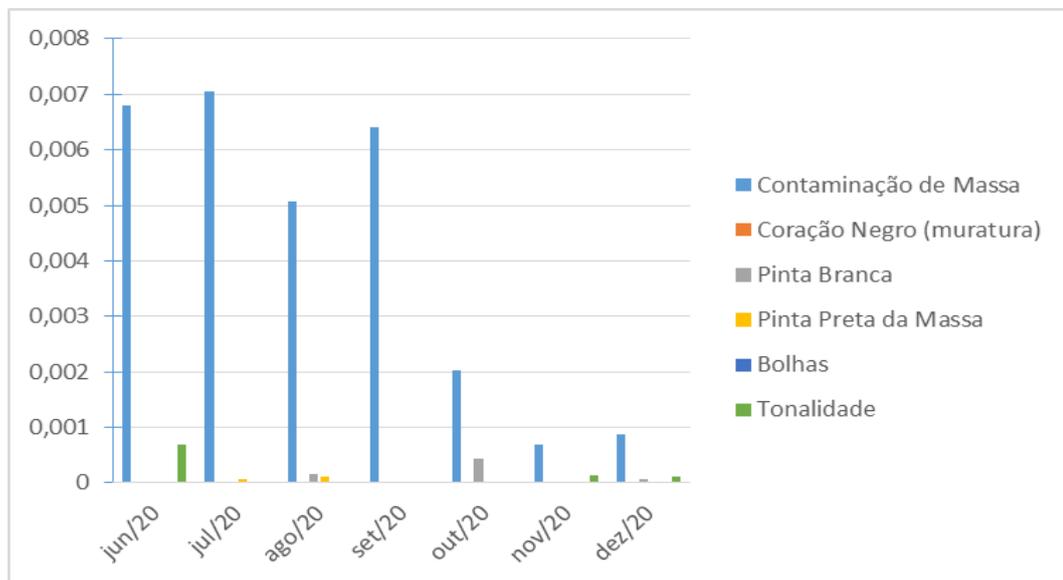


Fonte: da autora (2021)

Na análise dos defeitos encontrados na Linha 3 constata-se o de contaminação da massa foi o que apresentou maior percentual, como mostra nas Figura 39 e Figura 40.

No ano de 2020, como mostra Figura 39, a contaminação da massa apresentou resultados elevados nos meses de junho, julho e setembro.

Figura 39 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 3 em 2020 em percentual

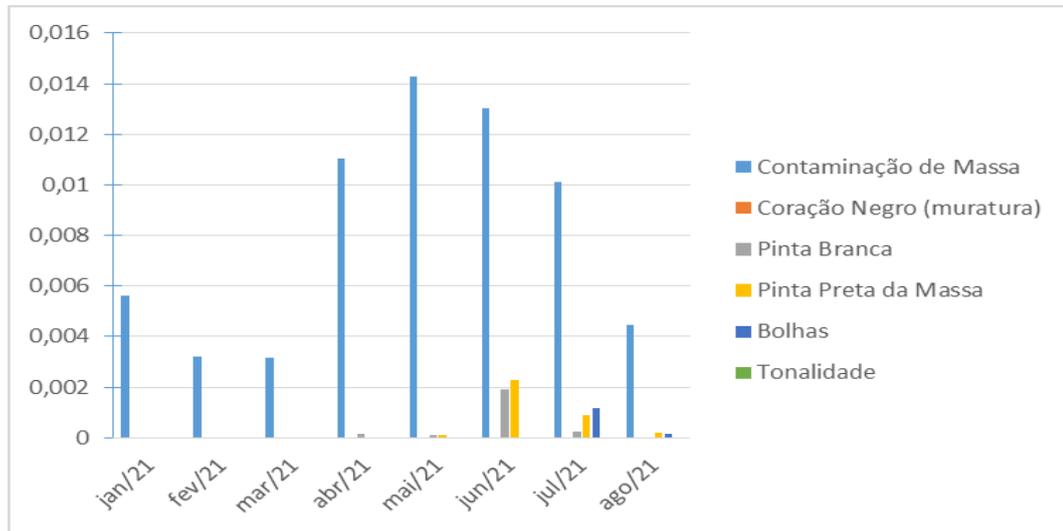


Fonte: da autora (2021)

No ano de 2021 verifica-se maior percentual de contaminação da massa nos meses de abril, maio e junho, tendo o pico em maio, como mostra Figura 40.

Neste mesmo ano observou-se a aparição de outros defeitos, a citar nos meses de junho, julho e agosto, sendo eles a pinta branca, pinta preta e bolhas.

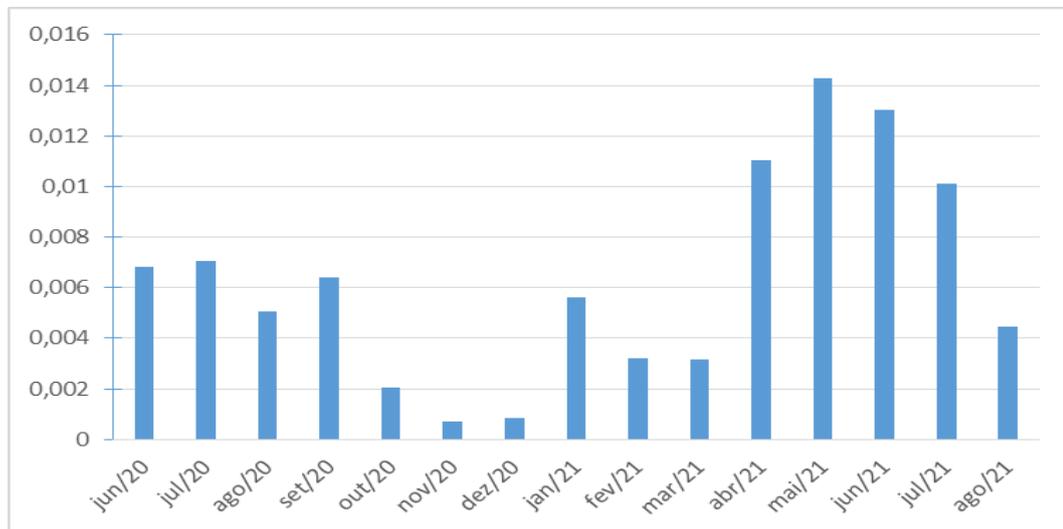
Figura 40 – Defeitos apresentados no setor “Massa” da Linha 3 em 2021 em percentual



Fonte: da autora (2021)

Na Figura 41 pode-se constatar que mesmo sem a troca de combustível houve aumento na contaminação da massa.

Figura 41 – Contaminação da massa na Linha 3 em percentual

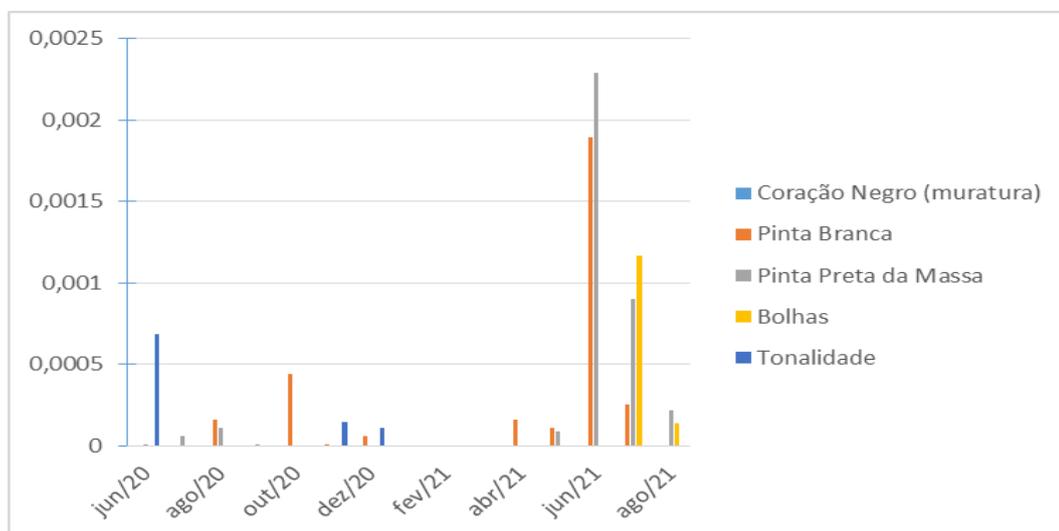


Fonte: da autora (2021)

Para os outros defeitos detectados como pinta branca e o de pinta preta na massa, mostrados na Figura 42, houve um aumento no ano de 2021, sendo seu pico no mês de junho. Já o defeito de bolha, teve maior ocorrência nos meses de

julho e agosto do mesmo ano. Referente ao defeito coração negro, não houve nenhuma placa com o mesmo.

Figura 42 – Outros defeitos encontrados na Linha 3 em percentual



Fonte: da autora (2021)

8.2.4 Dos resultados

Foi possível constatar um aumento no número de defeitos no setor de massa, nas Linhas 1 e 2, após a troca de CVP para carvão e cavaco. Isto pode estar relacionado ao fato da maior quantidade de poluentes liberados quando há a queima do carvão, juntamente com o MP emitido com a queima do mesmo. Os picos nos meses de maio, junho e agosto podem ter ocorrido pela troca de fornecedores ou até mesmo do carvão com mais poluentes em sua composição. Com relação a Linha 3, que continuou com o CVP, apresentou um aumento nos índices de contaminações e conforme informações da empresa, não se sabe o motivo pela qual os defeitos vêm aumentando. Entretanto acredita-se que possa ter ocorrido pela falta de manutenção dos equipamentos de controle de poluição e fornalha, bem como pela troca de fornecedores ou troca do CVP. Como já relatado a quantidade de poluente da composição do CVP pode variar dependendo da origem do petróleo (PETROBRAS, 2019).

A contaminação da massa foi o defeito mais corriqueiro e de maior volume, pode ser originada da matéria prima ou do setor de massa (BIFFI, 2000). A contaminação pode acarretar formação de bolhas, (BIFFI, 2000), explicando os

resultados da Figura 42. Uma das origens de contaminação da massa pode se dar pela presença de ferro e manganês, sendo eles advindo da ferrugem das peças do sistema hidráulico existente na indústria ou ser de origem orgânica (BIFFI, 2000). Com a queima do carvão e apenas um ciclone para reter as partículas maiores da combustão e, considerando que o ciclone tem rendimento de 50 a 90% e que consegue reter partículas de 5 - 25 μm , segundo (Macintyre 1990), as partículas que não estão nesta escala vão todas para o atomizador, ligando-se aos pós atomizados e ocasionando contaminação na massa.

Importante salientar que nas cinzas do carvão são encontrados quartzo, óxido de ferro, caulinita, muscovita, mulita e outros aluminossilicatos (SANTANA, 2002 apud TEIXEIRA, SANTANA, 2008), e determinados elementos traços como os (As, Be, Cd, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, F, V e U) são emitidos quando se utiliza carvão como combustível (R.B. FINKELMAN 1994 apud BORGES 2005), esclarecendo o descrito por Biffi, (2000) de que a contaminação da massa pode ser por conta de elementos contaminantes principalmente ferro e manganês, podendo ser de origem orgânica.

Acredita-se que os contaminantes ocorrem por conta dos processos da massa a citar, arraste do pó fino da fornalha, oxidação de equipamentos ou sujeira/queda de barreira de massa ou o seu acúmulo, não havendo contaminação proveniente da barbotina ou da matéria prima.

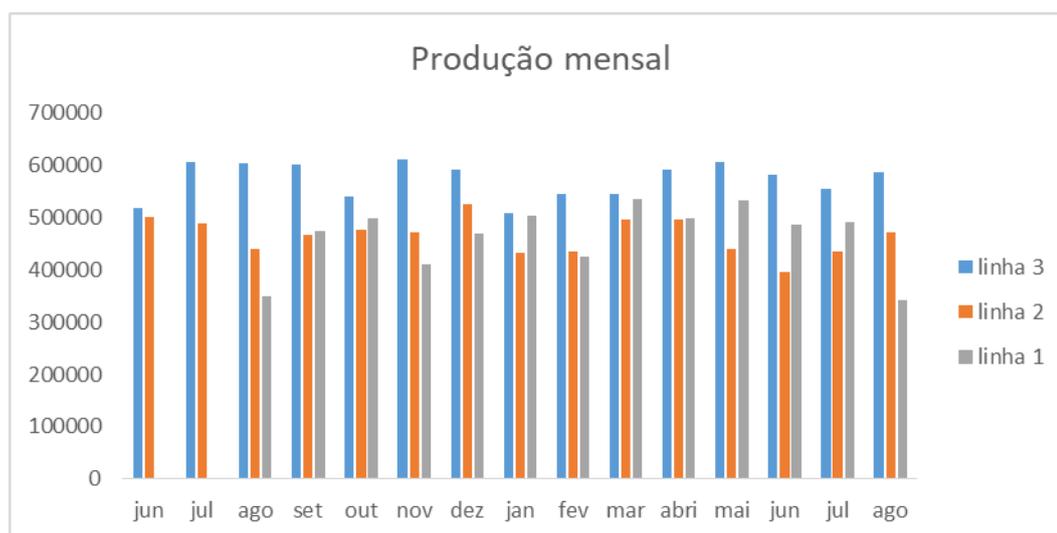
Assim também pode-se levar em consideração a presença de minerais naturais danosos, por conta da queima do carvão, tais como sulfetos presente na pirita (FeS_2), calcopirita (CuFeS_2) (BIFFI, 2000), podendo estar associado a cinza do carvão que é carregado com o calor para o atomizador.

A presença de coração negro na placa cerâmica ocorre devido a presença de minerais danosos, principalmente elementos carbonosos presente na massa. Isto é, há presença do óxido de carbono no pó atomizado por conta da contaminação da combustão de elementos orgânicos (BIFFI, 2000), podendo ser por óxido de ferro também (Beltran, V et al (1988); Amorós, J.L *et al* (1998) apud Damiani *et al*,2001). Com a troca de combustível nas Linhas 1 e 2, por conta da quantidade de cinzas gerada pelo carvão, o mesmo sendo carregado até o atomizador acaba contaminando o pó com óxidos de ferro e carbono, provocando assim seu aparecimento mais recorrente, conforme Figura 35.

O coração negro causa inchaço na peça cerâmica, deixa “vazio” no meio por conta dos desprendimentos dos gases (CO , CO_2), e assim esses vazios comprometem as propriedades mecânicas. Quando esses gases se desprendem e chegam a superfície esmaltada afetam a qualidade do esmalte, acarretando alteração na cor da superfície provocando variação da tonalidade (DAMIANI *et al* 2001). Assim, além de causar coração negro, também afeta a tonalidade da placa cerâmica explicando assim o aparecimento deste defeito no mês de dezembro na Linha 3, como visto na Figura 39.

O aparecimento do coração negro não foi muito recorrente nas Linhas 2 e 3, podendo estar relacionado com o número da amostra. Conforme verifica-se na Figura 43 que apresenta a produção mensal dos meses de junho de 2020 a agosto de 2021 nas Linhas 2 e 3 e de agosto de 2020 a agosto de 2021, na Linha 1.

Figura 43 – Produção mensal junho de 2020 a agosto de 2021 em m^2



Fonte: da autora (2021)

Fazendo uma média da produção dos períodos obtidos os dados têm-se para a Linha 1- 462.048 de m^2 de placas cerâmicas produzidas mensalmente, Linha 2 - 398.186 m^2 e Linha 3 - 496.859 m^2 . Considerando que são amostradas 1.600 placas cerâmicas por turno, com 3 turnos totaliza uma amostragem diária de 4.800 placas e mensal de 144.000.

Conforme verificado na NBR 13818 (ABNT, 1997c), no seu anexo U, na qual aborda sobre procedimento de amostragem critérios de aceitação e rejeição, ela traz os valores de amostragem para cada parâmetro tendo o mínimo de

amostras a serem coletadas e o número mínimo que o total dessa amostra pode ser rejeitado, ou seja, o número máximo de defeitos que as placas podem ter. Tendo em mente que a indústria realiza 8 amostragens durante o turno, totalizando 4800 placas amostradas diariamente e a mesma atende o número de amostragens.

A quantidade de placas amostradas ficou em torno de 31,17% m² na Linha 1, 36,16% m² na Linha 2 e 28,98% m² na Linha 3. Entretanto como o sistema de amostragem coleta 100 m² de placas seguidas, não havendo um certo intervalo sobre as mesmas, há a possibilidade de não ser coletada placas com tais defeitos.

Como relatado anteriormente aconteceu também a queima de gás natural, mas nos relatórios obtidos pela empresa não há registro dos dias em que houve a utilização do gás, impossibilitando fazer a relação da incidência de defeitos nos produtos versus combustível utilizado.

Outra interferência pode ser em razão de que, conforme relatado por Oliveira, Hotza (2015) que após a retirada da água da barbotina, os pós atomizados vão para silos de estocagem por 48 horas para homogeneização e estabilidade da umidade, há a mesclagem de pós atomizados que utilizaram carvão e pós atomizados que utilizaram gás, ficando complicado identificar se os defeitos tem origem por conta do combustível.

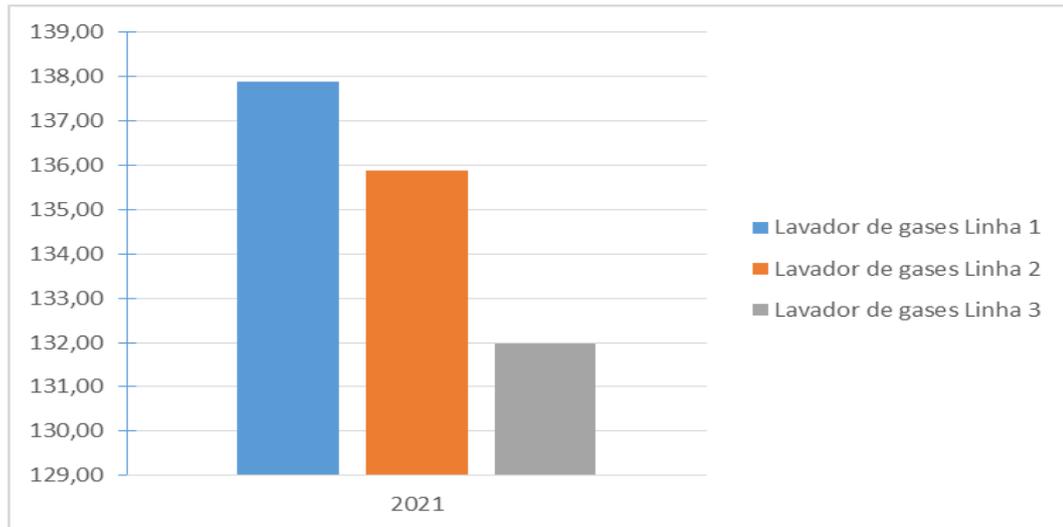
8.3 QUANTIFICAÇÃO DOS POLUENTES GERADOS ATRAVÉS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Foram realizadas no mês de outubro de 2021 as análises de monitoramento de emissões atmosférica, em atendimento a condicionante da licença ambiental. Foram analisados os poluentes MP, NO_x e SO_x, sendo o CVP o combustível utilizado no dia das análises em todas as linhas.

Para verificar se as emissões atmosféricas do ano de 2021 estão de acordo com a resolução SEMA nº 16 de 2014, no que trata da combustão externa, aplica-se o Art. 22, inciso III para a potência térmica nominal MW de 10 e 50, a mesma preconiza que para MP as emissões não devem passar de 250 mg/Nm³ (PARANÁ, 2014).

Pode-se observar na Figura 44 que no ano de 2021 todas as emissões estão dentro dos padrões de lançamento preconizado pela SEMA nº 16 de 2016 ficando com suas emissões abaixo de 250 mg/Nm³.

Figura 44 – Emissão de MP (mg/Nm³) Lavadores de gases 1, 2 e 3 no ano de 2021

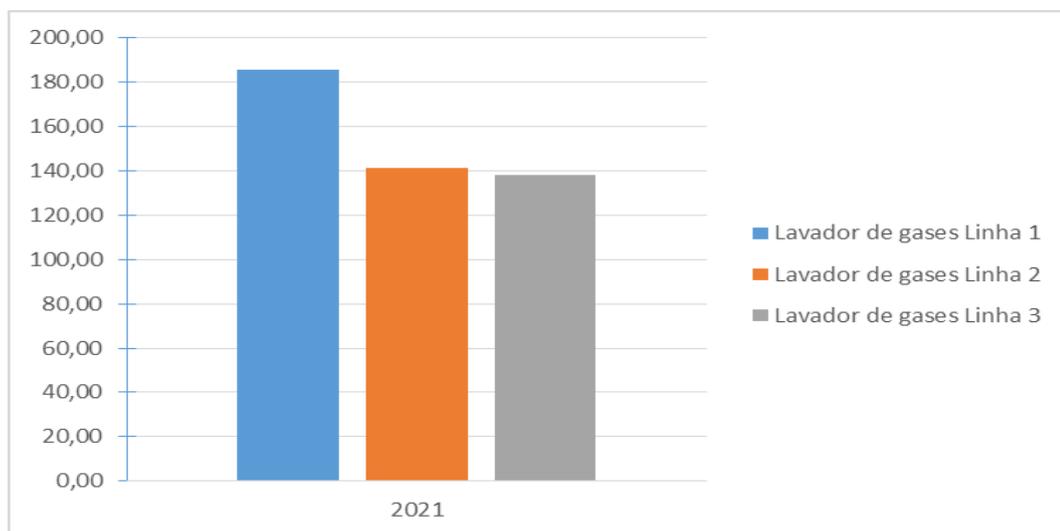


Fonte: da autora (2021)

Sobre as emissões de óxidos de enxofre a resolução SEMA nº 16 de 2014 trata que os mesmos são a soma dos “SO₂ + SO₃, expresso como SO₂”. Para a emissão de SO_x, as mesmas não devem passar de 3000 mg/Nm³ (PARANÁ, 2014).

Verificando a Figura 45 no ano de 2021 as emissões de SO_x estão dentro do preconizado pela resolução SEMA nº 16 de 2016, abaixo de 3000 mg/Nm³.

Figura 45 – Emissão de SO_x (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 1, 2 e 3 no ano de 2021

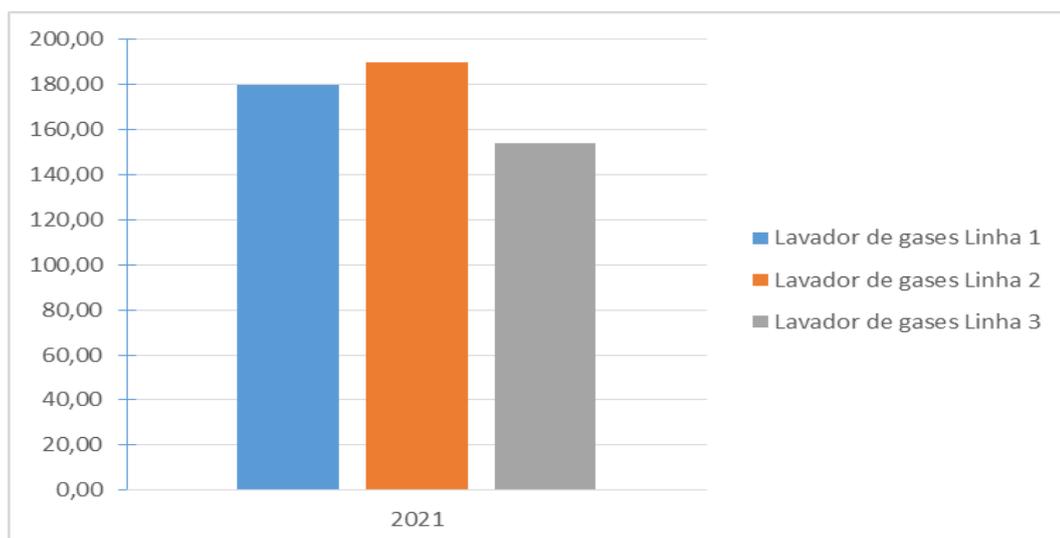


Fonte: da autora (2021)

Sobre os óxidos de nitrogênio a Resolução SEMA nº 16 de 2014 trata que os mesmos são a soma dos “NO + NO₂, expresso como NO₂”. Para a emissão de NO_x, as mesmas não devem passar de 500 mg/Nm³ (PARANÁ,2014).

Segundo a Figura 46 no ano de 2021 as emissões de NO_x ficaram dentro do preconizado pela resolução SEMA nº 16 de 2016 estando abaixo de 500 mg/Nm³.

Figura 46 – Emissão de NO (mg/Nm³) Lavador de gases Linha 1, 2 e 3 no ano de 2021



Fonte: da autora (2021)

8.4 O SISTEMA DE TRATAMENTO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EXISTENTES

Relembrando os equipamentos de controle utilizados na indústria, em todas as linhas, que são: um ciclone após a saída da fornalha para retenção dos MP maiores, 4 ciclones para filtrar o ar e recuperar os pós atomizados (BRISTOT, 1996), após a saída do atomizador e posteriormente o lavador de gases.

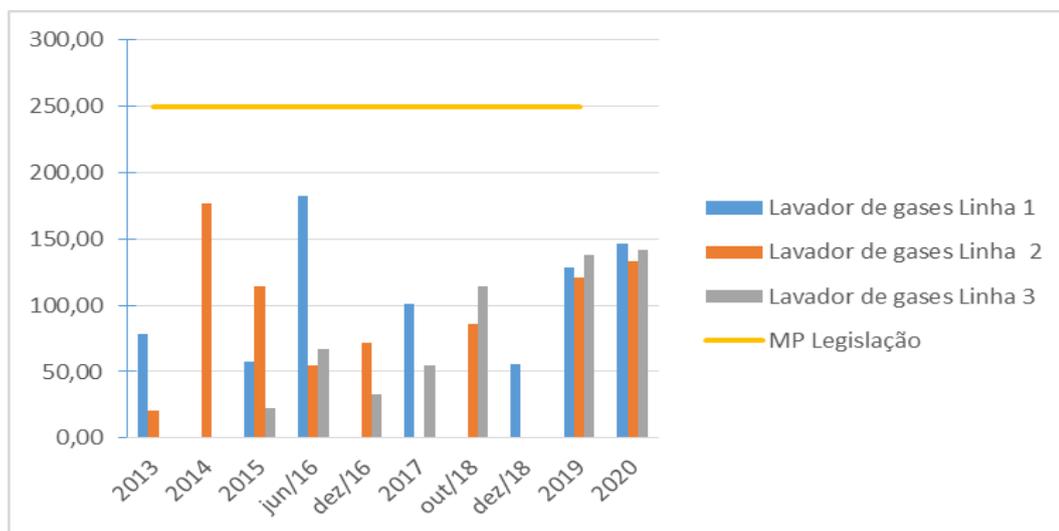
Conforme informação dada pela a empresa em estudo, o lavador de gás utiliza água como depurador para remover os poluentes gasosos assim como para reter MP. Além da água é adicionado uma concentração de 10% de hidróxido de sódio para neutralizar a formação de H_2SO_4 das emissões proveniente da queima dos combustíveis, formando-se sal neutro e água.

Sobre a eficiência dos equipamentos, o ciclone apresenta de 50 a 90%, dependendo do tamanho da partícula que podem variar de 5 – 25 μm , trabalham em temperaturas de até 370°C e gerando resíduos secos (MACINTYRE 1990), sendo que os resíduos voltam para o processo produtivo.

Já o lavador de gases tem uma eficiência de até 99%. As partículas retidas podem ser menor que 1 μm , trabalham em temperaturas de até 370°C e geram resíduos líquidos (MACINTYRE 1990), onde os mesmo são encaminhados para a estação de tratamento de efluente e a sua água tratada volta a ser circulada no lavador de gases. Conforme apresentado na Tabela 11, os poluentes que podem ser retidos no lavador de gases são: o ácido sulfídrico, NO_x , dióxido de enxofre, ácido sulfúrico, dióxido de carbono, metais solúveis em água, vapores de benzeno, etc. Gomes (2010) ainda discorre que os lavadores de gases têm uma eficiência de 95% e consegue reter partículas de diâmetro médio de 0,2 μm .

Avaliando a eficiência do sistema de tratamento das emissões atmosféricas existentes através do monitoramento das emissões atmosféricas, verificou-se que o MP da Linha 1 nos anos de 2014 e outubro de 2018 apresentaram um pico nas suas emissões, para a Linha 2 ocorreu no ano de 2014 e na Linha 3, em 2020, conforme observado na Figura 47. Salienta-se que a Linha 1 é a mais antiga das linhas em operações.

Figura 47 – Comparação de lançamento de MP (mg/Nm^3) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3



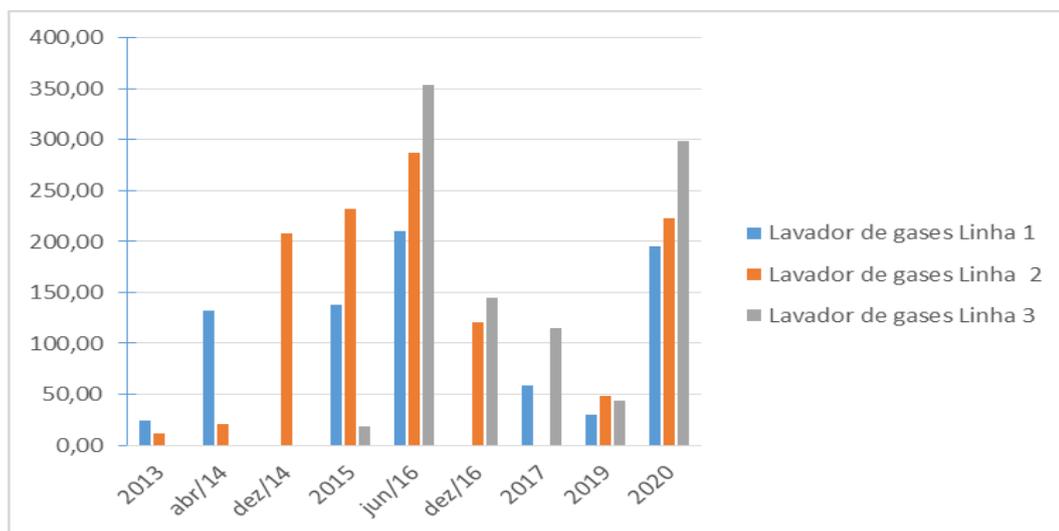
Fonte: da autora (2021)

Importante destacar que durante os anos de 2013 a 2020 eram utilizados o CVP em todas as três Linhas, entretanto atualmente, só na Linha 3.

Referente as emissões de SO_x e de NO_x , nunca excederam os limites preconizados pela legislação vigente.

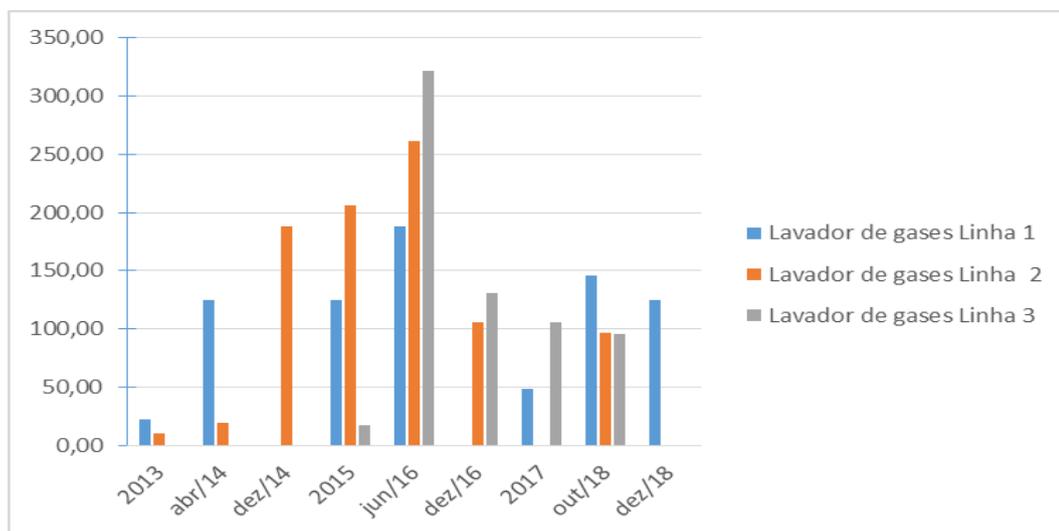
Uma comparação entre as três Linhas na emissão de SO_x e SO_2 observa-se nas Figura 48 e Figura 49 que o lançamento de SO_x e SO_2 foram maiores em 2016 na Linha 3. Se tratando da emissão de SO_x de forma geral, a Linha 2 é a que apresentou maior frequência de emissão deste poluente em comparação com as outras Linhas. Já em relação ao SO_2 as emissões apresentaram regularidade em todos os lavadores de gases.

Figura 48 – Emissão de SO_x (mg/Nm³) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3



Fonte: da autora (2021)

Figura 49 – Emissão de SO₂ (mg/Nm³) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3



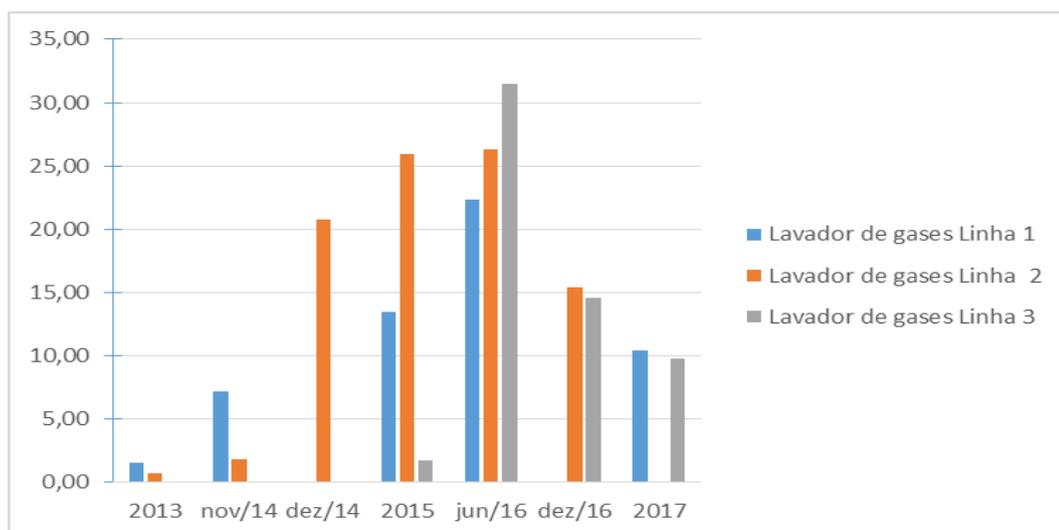
Fonte: da autora (2021)

Referente a emissão de de trióxido de enxofre e ácido sulfúrico, como observado na

Figura 50, foi mais recorrente na Linha 2 entretanto seu pico ocorreu em junho de 2016 na Linha 3 e por não ter padrão em legislação, a análise comparativa não pode ser realizada. Salienta-se, conforme já relatado, neste ano o combustível utilizado era CVP e o mesmo tem características de ter baixo teor de enxofre e um

alto teor de carbono fixo (PORTAL, 2015 apud HOFFMANN, PAVEI, 2016). Gomes (2010), relata também que o dióxido de enxofre é o poluente mais emitido e que sua formação se dá na razão de 4 a 8 partes para cada parte de trióxido de enxofre, justificando os valores baixos de suas emissões.

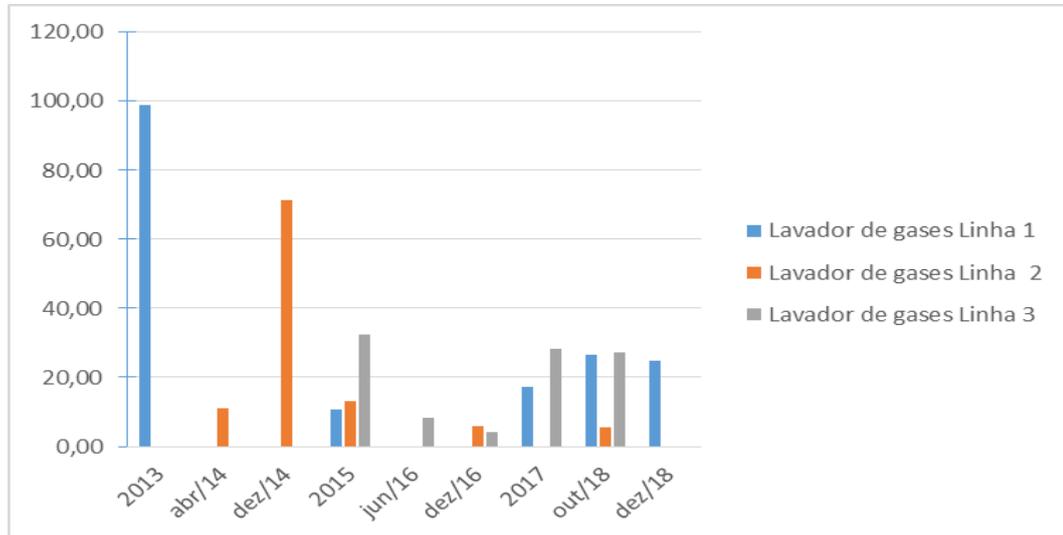
Figura 50 - Trióxido de enxofre (mg/Nm^3) e Ácido sulfúrico (mg/Nm^3) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3



Fonte: da autora (2021)

Outra comparação é com os dióxidos de nitrogênio, verificando-se que há uma diversificação das emissões deste poluente, sendo o ano de 2013 o pico de emissão da Linha 1. Outro fato seria que em 2014 e 2016 as metodologias utilizadas pelo laboratório não foram detectados a emissão deste poluente. Referente a Linha 2 verificou-se a ausência deste poluente nos anos de 2013 e junho de 2016. A Linha 3, que teve o início das operações em 2015, todos os monitoramentos apontaram lançamento deste poluente, como mostrado na Figura 51.

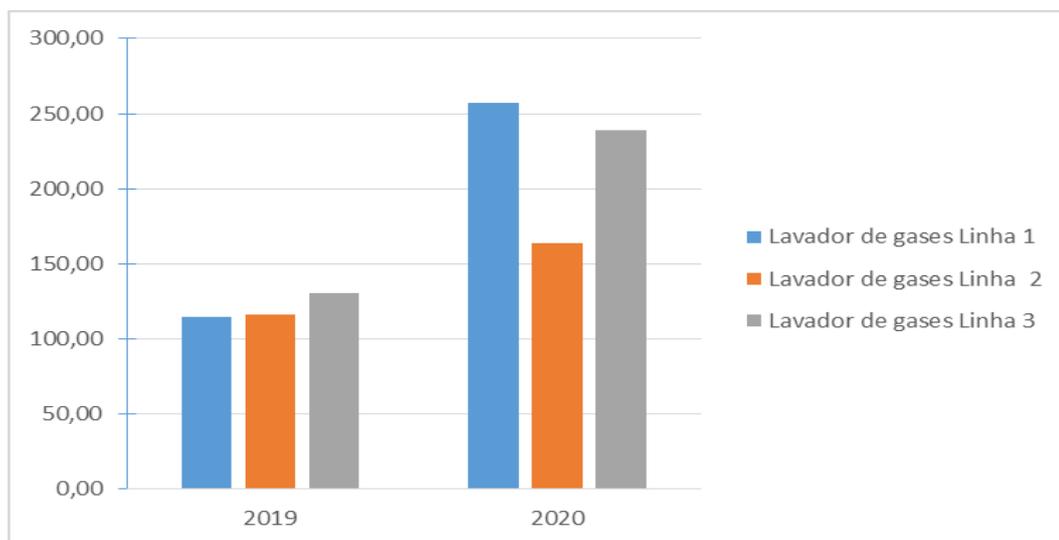
Figura 51 – Dióxido de nitrogênio (mg/Nm^3) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3



Fonte: da autora (2021)

Comparando os lançamentos de óxido de nitrogênio em 2020, houve um aumento em relação ao ano anterior, conforme Figura 52. Como já relatado, isto pode ser justificado, conforme descrito por Guimarães (2016), pelos óxidos de nitrogênio, também conhecidos como NO_x , serem basicamente o somatório de $\text{NO} + \text{NO}_2$, que corresponde ao NO_2 total, e por Gomes (2010) em que a razão de NO_2 é menor que 10% do total de NO emitido.

Figura 52 – Óxido de nitrogênio (mg/Nm^3) dos lavadores de gases das Linhas 1, 2 e 3



Fonte: da autora (2021)

Na queima do CVP há a liberação de gases poluentes e alguns gases tóxicos para o ser humano dentre eles o benzeno, assim como metais pesados, e como já mencionado o lavador de gases consegue remover os mesmos das emissões atmosféricas. Entretanto nada consta na literatura que os lavadores de gases conseguem reter os HPA's e COV's.

Para as análises realizadas no ano de 2021 todos os parâmetros deram dentro do indicado na resolução SEMA nº 16 de 2014 (PARANÁ, 2014). Verificou-se que os equipamentos de controle de poluição atmosférica estão todos em pleno funcionamento e em dia com sua manutenção.

Comparando os equipamentos de controle nas três Linhas, conforme Figura 44, Figura 45 e Figura 46, verificou-se que a Linha 1 foi a que apresentou maior emissão dos poluentes MP e SO_x , e a Linha 2, o NO_x , embora todos dentro do padrão determinado pela legislação vigente.

Como abordado por Calijuri (2019), na maior parte das vezes uma pequena quantidade de impurezas acaba sendo emitida na atmosfera não causando danos graves, pois o processo de depuração remove e limpa a atmosfera.

9 CONCLUSÃO

Nos dias de hoje o mundo necessita de ações efetivas para melhorar a qualidade do ar. A poluição atmosférica é um dos fatores que mais afetam a qualidade de vida do ser humano, uma vez que ocasiona prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente no geral (LAVACA, 2003). Para não prejudicar a qualidade do ar e a vida bem como estar atendendo as legislações ambientais, a indústria deve investir em equipamentos e melhorias no seu sistema de controle ambiental garantindo a qualidade do ar e também melhorando a qualidade de seus produtos.

No estudo realizado verificou-se que a indústria em questão vem nos últimos anos atendendo a todos os parâmetros de emissões atmosféricas estabelecidos pelo órgão ambiental na licença ambiental.

Se tratando da comparação entre os lavadores de gases em relação ao tratamento, o lavador de gases da Linha 2 foi o que apresentou lançamentos mais altos em relação aos demais, embora atendendo aos padrões exigidos pela legislação. Como proposta de melhoria a fim de que o processo seja eficiente, a indústria pode estar realizando, semestralmente, manutenção dos lavadores de gases, haja visto que hoje a manutenção dos mesmos ocorre somente quando apresentam problemas.

Outra proposta seria adotar um lavador de gases tipo Venturi. Esses sistemas tem a finalidade de atomizar líquidos em sua garganta, e seu principal mecanismo é de impactação inercial, que consiste no mecanismo de que a partícula não consegue seguir o mesmo caminho que a corrente de ar pois encontra um obstáculo (gota) colidindo com o mesmo (MEILI, 2006). Neste processo a impactação inercial proporciona mais eficiência nas partículas maiores que 10 μm em comparação com as menores, principalmente em partículas com diâmetro menor que 0,3 μm . Já o mecanismo browniano atua nas partículas menores que 0,3 μm . O mesmo consiste em que partículas menores que 0,3 μm se movem de forma randômica por estarem em um espaço restrito acabam colidindo com um obstáculo (gota) (MEILI, 2006).

Importante salientar que o lavador de gases tipo Venturi apresenta uma eficiência para remoção de partículas com diâmetro de 0,5 a 5,0 μm , e pode ser tão ou mais eficiente que qualquer outro equipamento (MEILI, 2006).

Outro ponto a ser tratado seria o monitoramento da emissão de HPA's por conta da queima do coque verde de petróleo (CVP), assim como outras substâncias prejudiciais à saúde do homem, como o benzeno. Mesmo não tendo padrões para o lançamento do mesmo pelas resoluções de emissões atmosféricas, seria importante o monitoramento desses poluentes por conta do combustível utilizado, também a fim de avaliar a eficiência do lavador de gases para conter tais poluentes.

Outra sugestão seria estar adotando mais um equipamento para o processo de filtragem (recuperador de massa atomizada). Como a indústria já utiliza quatro ciclones na saída do atomizador, o mesmo poderia fazer a implementação de um multiciclone com objetivo de reter mais MP, podendo ser colocado após os ciclones existentes, a fim de recuperar as partículas que não foram retidos anteriormente a seu processo. Os multiciclones apresentam uma eficiência boa com relação as partículas com diâmetro aerodinâmico de 1 a 10 μm (JACOMINO, RIBEIRO, CASTRO, 2002)

Se tratando da qualidade dos revestimentos cerâmicos e os defeitos que impactam no mesmo, em razão da dificuldade de disponibilidade de livros/artigos/trabalhos acadêmicos sobre este assunto, sugere-se um campo para novos estudos, principalmente em relação a poluição atmosférica versus impactos que a mesma acarreta na qualidade do produto final.

Com relação aos defeitos e sua origem impactando a qualidade das placas cerâmicas, verificou-se que o setor de Massa foi o que apresentou maior incidência de defeitos, não advindos da matéria prima e nem por conta de sua formulação, mas sim, segundo dados da empresa, pelo processo (arraste de pó fino originado da fornalha), oxidação de equipamento, sujeira, quebra de barreira ou acúmulo de massa. Com relação ao arraste de pós oriundos da fornalha, concluiu-se que apenas um ciclone não é suficiente para reter todo o MP originado na fornalha, havendo a necessidade de implementação de mais um equipamento para controle do mesmo, com o cuidado de não afetar vazão e o calor gerado. Pode ser

implementado nesta etapa também outro mult ciclone por conta da sua eficiência já citada.

Neste sentido propõe-se ainda a instalação do mult ciclone em apenas uma linha do processo a fim de avaliar o comportamento da diminuição dos defeitos gerados na massa. Outra sugestão seria avaliar a qualidade do combustível utilizando um carvão ou CVP com baixo índice de geração de cinza e baixo índice de enxofre.

Outro ponto a se considerar são as reações de combustão que acontecem quando os componentes presentes no combustível reagem com o oxigênio e geram grandes quantidades de calor. A grande parte dos combustíveis é composta por carbono hidrogênio e em alguns casos enxofre. Diz-se que a combustão é completa quando na reação do carbono com o ar obtém-se o dióxido de carbono, água e em alguns casos, o enxofre, na forma de dióxido de enxofre. Já a combustão incompleta gera substâncias combustíveis, gases como monóxido de carbono, hidrogênio e em alguns casos, hidrocarbonetos gasosos. Analisando que a reação de combustão é um fator importante a se considerar quando se trata de emissões atmosféricas, como proposta de continuidade nos estudos, sugere-se a realização do balanço de massa dos combustíveis utilizado pela indústria, a fim de quantificar os poluentes emitidos na queima bem como avaliar a eficiência dos equipamentos de controle de poluição atmosférica utilizados.

Importante destacar que a indústria em estudo, para a queima dos seus combustíveis, utiliza-se combustão por leito fluidizado, descrito nas literaturas como um processo que tem como uma das suas vantagens maior controle da poluição ambiental. Diante disso, seria importante também avaliar o processo levando assim a quantificação dos poluentes gerados com a queima dos combustíveis e o quanto desse combustível chega ao atomizador, considerando que fica retido parte na fornalha (leito fluidizado).

Ainda se tratando de combustão, outra sugestão seria avaliar outros tipos de leitos fluidizados existentes e a geração de poluição atmosférica, levando em consideração baixas emissões de NO_x , SO_x , entre outros parâmetros, assim como a redução de defeitos que podem ser apresentados no setor de “Massa”.

REFERÊNCIAS

ALVES, Helton José; MELCHIADES, Fábio Gomes; FREITAS, Márcio Roberto de; BOSCHI, Anselmo Ortega. **Polimento em Peças de Porcelanato: avaliação da porosidade final e da resistência ao manchamento**. Cerâmica Industrial, Criciúma, v. 15, n. 2, p. 23-29, mar.abril 2010. Bimestral. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657407f8c9d6e028b4780/pdf/ci-15-2-587657407f8c9d6e028b4780.pdf>. Acesso em: 25 out. 2021.

ANDRADE, Maria Margarida. **Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação** 10. ed. Ed Atlas. São Paulo, 2010, p. 110.

ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos. **Setor Cerâmico Brasileiro em Números**. São Paulo; ANFACER, 2021, Disponível em <https://www.anfacer.org.br/> acessado em 21 de agosto de 2021

ANP. **Estudo sobre o Aproveitamento do Gás Natural do Pré Sal**. Rio de Janeiro: Anp, 2020. 38 p. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/livros-e-revistas/estudo-sobre-o-aproveitamento-do-gas-natural-do-pre-sal>. Acesso em: 16 out. 2021

ARAÚJO, Juliano Bezerra de. **Desenvolvimento de métodos de avaliação de desempenho de processos de manufatura considerando parâmetros de sustentabilidade**. 2010. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos de Gestão e Operação, Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-02032010-141958/publico/JulianoBezerradeAraujo.PDF>. Acesso em: 09 outubro 2021

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. **NBR 9000**: Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. 26 p.

_____. **NBR 9001**: Sistema de Gestão da Qualidade - Requisitos. Rio de Janeiro: Abnt, 2015. 42 p.

_____. **NBR 13816**: Placas cerâmicas para revestimento - terminologia. Rio de Janeiro: Abnt, 1997a. 4 p.

_____. **NBR 13817**: Placas cerâmicas para revestimento - classificação. Rio de Janeiro: Abnt, 1997b. 3 p.

_____. **NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimentos – Especificações e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: Abnt, 1997c. 78 p.

_____. **NBR 15463**: Placas cerâmicas para revestimento - porcelanato. Rio de Janeiro, 2013. 7 p

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.

BARBOSA, André Luiz. **Regulação para o Armazenamento Geológico de Gás Natural e Energia no Brasil**: avaliação da situação atual, identificação de lacunas e recomendações. 2021. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Geológica, Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia, Évora, 2021. Disponível em: https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/29225/1/Mestrado-Engenharia_Geologica-Andre_Luiz_Barbosa.pdf. Acesso em: 16 out. 2021.

BLASELBAUER, Harald. **Combustão de madeira e controle de poluição em cerâmicas**. Revista Novacer, v. 5, 2010. Disponível em: <https://www.lippel.com.br/Assets/Downloads/05-05-2014-10-50combustao-de-madeira-e-controle-de-poluicao-em-ceramicas.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2021.

BIFFI, Giovanni. **Defeitos de fabricação das placas cerâmicas**. Rio Claro, SP: Faenza Editrice, 120 p. 2000.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005. 268 p. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b. Acesso em: 19 out. 2021.

_____. Lei 6.938 de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**. 1981. Publicado no D.O.U. de 2 de setembro de 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm. Acesso em: 31 maio 2020.

_____. Lei 9478 de 1997. **Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências**. Publicado no D.O.U. de 7 de agosto de 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 16 de outubro de 2121.

_____. Resolução CONAMA nº 05, de 15 de julho de 1989. **Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR**. Publicado no D.O.U. de 25 de agosto de 1989.

_____. Resolução CONAMA nº 08, de 06 de dezembro de 1990. **Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição**. Publicado no D.O.U. de 28 dezembro de 1990.

_____. Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006. **Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas**. Publicado no D.O.U. de 02 janeiro de 2007. Disponível em:

<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>. Acesso em: 27 de agosto de 2021.

_____ Resolução CONAMA nº 436, de 22 de dezembro de 2011. **Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007.** Publicado no D.O.U. de 26 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>. Acesso em: 27 de agosto de 2021.

_____ Resolução CONAMA nº 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018. **Padrões Nacionais de Qualidade do Ar. Publicado no D.O.U. de 21 de novembro de 2018.** Disponível em: http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895. Acesso em: 27 de agosto de 2021.

BRISTOT, Vilmar Menegon. **Máquinas e equipamentos para cerâmica.** Editora Luana, 352 p. Criciúma, SC. 1996.

BORBA, Roberto Ferrari. Carvão Mineral, pg 21. **Balanco Mineral Brasileiro 2001.** Disponível em <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>. Acessado em 21 de agosto de 2021.

BORGES, Daniel Lazaro Gallindo. **Determinação de Elementos Traço em Carvão por Espectrometria de Absorção Atômica de Alta Resolução com Fonte Contínua e eor Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado e Vaporização Eletrotérmica.** 2005. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/101794/228645.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19 out. 2021.

CABRAL JUNIOR, Marsis *et al.* **Panorama e Perspectivas da Indústria de Revestimentos Cerâmicos no Brasil.** Cerâmica Industrial, Criciúma, v. 15, n. 3, p. 7-18, Maio/Junho 2010. Trimestral. Disponível em: <https://ceramicaindustrial.org.br/article/587657417f8c9d6e028b4784/pdf/ci-15-3-587657417f8c9d6e028b4784.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2021.

CALIJURI. Engenharia Ambiental - **Conceitos, Tecnologias e Gestão.** São Paulo: Grupo GEN, 2019. 9788595157446. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595157446/>. Acesso em: 02 de setembro de 2021.

CANO, Telma Monreal. **Carvão Mineral.** Brasília: DNPM, 2017. 19 p. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/2-2-carvao>. Acesso em: 19 out. 2021.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO: L9.061. **Determinação do grau de enegrecimento da fumaça emitida por fontes**

estacionárias otimizando a escala de Ringhmann reduzida: método de ensaio. São Paulo, jan. 1979.

_____ L9.221. **Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação dos pontos de amostragem: procedimento.** São Paulo, jul. 1990, p 7.

_____ L9.222. **Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação da velocidade e vazão dos gases: método de ensaio.** São Paulo, mai. 1992a, p 7.

_____ L9.223. **Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação da massa molecular seca e do excesso de ar do fluxo gasoso: método de ensaio.** São Paulo, jun. 1992b, p 6.

_____ L9.224. **Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação da umidade dos efluentes: método de ensaio.** São Paulo, ago. 1993, p 14.

_____ L9.225. **Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação de material particulado: método de ensaio.** São Paulo, mar. 1995, p 15.

_____ L9.228. **Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de dióxido de enxofre e de nevas de ácido sulfúrico e Trióxido de enxofre: método de ensaio.** São Paulo, jun. 1992c.

_____ **Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível Fontes de Combustão.** São Paulo: CETESB, 2015. 17 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2015/12/Guia-MTPD-Fontes-de-Combust%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 16 out. 2021.

COLONETTI, Ricardo Alves. **Trajatória da Indústria de Revestimentos Cerâmicos do Sul Catarinense.** Cerâmica Industrial, Criciúma, v. 21, n. 3, p. 21-25, Maio/Junho 2016. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657627f8c9d6e028b4847/pdf/ci-21-3-587657627f8c9d6e028b4847.pdf>. Acesso em: 08 set. 2021.

CPRH. **N.1007: Condições para Utilização de Coque Verde de Petróleo – CVP como Combustível em Fornos e Caldeiras.** Pernambuco: N.I., 2015. 8 p. Disponível em: <http://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/norma-CPRH-N-1-007.pdf>. Acesso em: 16 out. 2021.

DAMIANI, Juliano C. *et al.* **Coração Negro em Revestimentos Cerâmicos: principais causas e possíveis soluções.** Cerâmica Industrial, Criciúma, v. 2, n. 6, p. 12-16, Março/Abril, 2001. Bimestral. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876570b7f8c9d6e028b4641/pdf/ci-6-2-5876570b7f8c9d6e028b4641.pdf>. Acesso em: 27 set. 2021.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** 2. ed. São Paulo: Signus Editora, 2000.

FRANÇA, Jaqueline Maria de. **Reflexão sobre os Cenários de Risco do Coque Verde de Petróleo**: perspectivas para a vigilância em Suape. 2010. 38 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Saúde Pública do Departamento de Saúde Coletiva, Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz,, Recife, 2010. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/30118/1/729.pdf>. Acesso em: 16 out. 2021.

GODOY, A.S. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades**. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rae/v35n2/a08v35n2.pdf>>. Acesso em: 28 de agosto de 2021.

GOMES, João Fernando Pereira. **Poluição atmosférica: um manual universitário**. 2. ed. Porto: Polindústria, 2010. 266 p.

GORINI, Ana Paula Fontenelle; CORREA, Abidack Raposo. **Cerâmica ara Revestimentos**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v. N.I., n. 10, p. 201-252, setembro 1999. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9535/2/BS%2010%20Cer%c3%a2mica%20para%20Revestimentos_P_BD.pdf. Acesso em: 12 set. 2021.

GURGEL, Aline do Monte. **Uso do Coque Verde de Petróleo como Matriz Energética em Pernambuco e e Perspectiva da Vigilância em Saúde**: estudo de caso no complexo industrial portuário de Suape. 2011. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Saúde Pública, Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2011. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/10422/1/432.pdf>. Acesso em: 16 out. 2021.

GUIMARÃES, Claudinei de Souza. **Controle e Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2016. Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595154438/epubcfi/6/6\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright.xhtml!\]/4/2/2/3:28\[Ltd%2Ca.\]](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595154438/epubcfi/6/6[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright.xhtml!]/4/2/2/3:28[Ltd%2Ca.]). Acesso em: 11 out. 2021.

HOFFMANN, Marta Valéria Guimarães de Souza; PAVEI, Paula Tramontim. **Relatório de Consultoria Ambiental**: Imbituba logística portuária Ltda. Criciúma: N.I., 2016. 120 p.

JACOMINO, Vanusa Maria Feliciano; RIBEIRO, Eduardo Delano Leite; CASTRO, Luiz Fernando Andrade de. **Seleção de Padrões de Emissão Atmosférica. Um Estudo de Caso para as Pequenas e Médias Empresas Produtoras de Ferro-Gusa do Estado de Minas Gerais**. Abes, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3, p. 112-116, dez. 2002. Trimestral. Disponível em: <https://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v7n34/v7n34n03.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2021.

LACAVA, Carlos Ibsen Vianna. **Avaliação da Qualidade do Ar**. N.I: N.I., 2003. 50 p. Disponível em: http://www.ambiental.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2014/08/Livro_TGA-EA-_cap_2__QUAL_AR.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.

LISBOA, Henrique de Melo; SCHIRMER, Waldir Nagel. **Controle da Poluição Atmosférica**. Florianópolis: Ufsc, 2007. 93 p. Disponível em: http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Teaching/FisPoluicaoAr2016/Lisboa_Cap7_controle_poluicao_atmosferica_2007. Acesso em: 25 out. 2021.

LUNKES, Maiquel Kochhann. **O carvão das camadas superiores e inferiores da jazida de Candiota - RS**: uma contribuição para sua característica química, metrológica e tecnológica visando seu potencial na geração de energia elétrica. 2010. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28616/000771591.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19 out. 2021.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, c1990. 403 p

MAFRA, Joyce Bueno. **Avaliação de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos-HPAs Derivados da Queima de Cavaco durante o Processo de Secagem do Milho**. 2021. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021. Disponível em: http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/5479/5/Joyce_Mafra2021.pdf. Acesso em: 16 out. 2021.

MEILI, Lucas. **Estudo do desempenho de lavadores de gases do tipo Venturi com seção circular**. 2006. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15211/1/LMeiliDISSPRT.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2021.

MIHELIC, James R.; ZIMMERMAN, Julie Beth, **ZJ Engenharia Ambiental - Fundamentos, Sustentabilidade e Projeto**, 2ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017. 9788521634881. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634881/>. Acesso em: 02 de setembro de 2021.

MILLER, G. Tyler; SPOOLMAN, Scott E. **Ciência Ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2016. 464 p.

MOTTA, José Francisco Marciano; ZANARDO, Antenor; CABRAL JUNIOR, Marsis. **As Matérias-Primas Cerâmicas**. Parte I: o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. Cerâmica Industrial, Criciúma, v. 6, n. 2, p. 28-39, Março/Abril 2001. Bimestral. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876570b7f8c9d6e028b4643/pdf/ci-6-2-5876570b7f8c9d6e028b4643.pdf>. Acesso em: 12 set. 2021.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de; HOTZA, Dachamir. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da Ufsc, 2015. 124 p. Disponível em: <file:///C:/Users/user/Downloads/Tecnologia%20de%20fabrica%C3%A7%C3%A3o%2>

Ode%20revestimentos%20cer%C3%A2micos%20e-book.pdf. Acesso em: 09 out. 2021.

OLIVEIRA, Maria Cecília; MAGANHA, Martha Faria Bernils. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos - Série P+L**. 90 p. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: <
http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/ceramica.pdf>. Acesso em: 14 de setembro de 2012.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (Suíça). **Poluição do ar: visão geral**. Visão geral. 2021a. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. Acesso em: 25 ago. 2021.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (Suíça). **Poluição do ar: Poluição do ar ambiente**. 2021b. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. Acesso em: 25 ago. 2021.

PARANÁ. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Resolução SEMA n. 016 de 2014. **Define critérios para o Controle da Qualidade do Ar, padrões de emissão e critérios de atendimento para fontes industriais, comerciais e de serviços**. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <
<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=269324>> Acesso em: 25 out. 2021.

PETROBRAS (Brasil). **Coque Verde de Petróleo**: informações técnicas. N.I: Petrobras, 2019. 9 p. Disponível em:
<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/Coque-Informacoes-Tecnicas.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2021.

RANGEL, Leonardo Paes; BÜCHLER, Pedro Maurício. **Estudo do nitrogênio na combustão do gás natural**. Química Nova, [S.L.], v. 28, n. 6, p. 957-963, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422005000600005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/qgZvwmX5JW3ggFz78RcfdHy/?lang=pt>. Acesso em: 06 nov. 2021.

RANGEL-S., Maria Ligia. **Imagens e sentidos no discurso da mídia impressa acerca de uma epidemia de intoxicação ocupacional por benzeno. Interface - Comunicação, Saúde, Educação**, [S.L.], v. 10, n. 19, p. 77-92, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-32832006000100006>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/icse/a/x8LLZnMVDC3s3DyDhmXfkQC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 out. 2021.

SANTA CATARINA. SC GÁS. **Companhia de Gás de Santa Catarina**, 2021. Disponível em: <https://www.scgas.com.br/scgas/site/a-scgas/o-gas-natural>. Acesso em: 22 ago. 2021.

SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 59.113, de 23 de abril de 2013. **Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas**. São Paulo, São Paulo, 24 abril. 2013. Disponível em <
<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113->

23.04.2013.html> Acesso em 25 out. 2021

SILVA, Agenor Medrado da. **Estudo da Combustão de Carvões e Misturas com o Coque Verde de Petróleo Injetadas em Altos Fornos**. 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2006. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99308/silva_am_me_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 ago. 2021.

SIQUEIRA, Fabrício Bagli. **Desenvolvimento de Revestimento Cerâmico Poroso Utilizando Resíduo Grits**. 2017. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro., Campos dos Goytacazes, 2017. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Tese-Fabricio-Bagli-Siqueira.pdf>. Acesso em: 27 set. 2021.

TEIXEIRA, Elba Calessio; SANTANA, Eduardo Rodrigo Ramos de. **Poluição atmosférica associada ao uso do carvão no Brasil**. Rio de Janeiro: Cetem/McT, 2008. 300 p. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2039/1/carvao_brasileiro_tecnologia_e_meio_ambiente.pdf. Acesso em: 19 out. 2021.

TRUGILHO, Paulo Fernando. **Energia da Biomassa Florestal**. 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/6368207-Energia-da-biomassa-florestal-paulo-fernando-trugilho-1.html>. Acesso em: 16 out. 2021

US EPA - U.S. **Environmental Protection Agency**. Method 3a - Determination of Oxygen and Carbon Dioxide Concentrations In Emissions From Stationary Sources (Instrumental Analyzer Procedure). s.d. North Carolina.

US EPA - U.S. **Environmental Protection Agency**. Method 7E - Determination of Nitrogen Oxides Emissions from Stationary Sources (Instrumental Analyzer Procedure). s.d. North Carolina.

VARGAS, Douglas Dias Triana. **Desenvolvimento de modelo de gestão da qualidade de produto e processos produtivos de placas cerâmicas**. 2007. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-14072021-141456/publico/2007VargasDesenvolvimento.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2021.

VESILIND, P. Aarne; MORGAN, Susan M. **Introdução à engenharia ambiental**. Tradução 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 438 p.

VESILIND, P. A; MORGAN, SM; HEINE, LG **Introdução à engenharia ambiental** - Tradução da 3ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2018. 9788522127689. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522127689/>. Acesso em: 02 de setembro de 2021