



**COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DA CETESB
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO CONFORMIDADE
AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS**



Gabriela Romeo Delgado

**PROPOSTA DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE UM LAVADOR DE
GASES EM INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO SECUNDÁRIO**

São Paulo

2021



Gabriela Romeo Delgado

**PROPOSTA DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE UM LAVADOR DE
GASES EM INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO SECUNDÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de pós-graduação “Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais”, da Escola Superior da CETESB, como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Conformidade Ambiental.

Orientador: PhD Lúgia Cristina Gonçalves de Siqueira

São Paulo

2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

D392 p Delgado, Gabriela Romeo
Proposta de melhoria da eficiência de um lavador de gases em indústria de fundição de alumínio secundário / Gabriela Romeo Delgado. – São Paulo, 2021. 119 p.: il. color. ; 30 cm.

Orientador (a): PhD Lígia Cristina Gonçalves de Siqueira.
Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2021.
Disponível também em: <<http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>.

1. Alumínio – indústria 2. Ar – poluição - controle 3. Equipamento – controle – poluição 4. Material particulado I. Siqueira, Lígia Cristina Gonçalves de, Orient. II. Escola Superior da CETESB (ESC). III. Título.

CDD (21. ed. Esp.) 363.739 263
CDU (2. ed. Port.) 502.175:614.71/.72

Catálogo na fonte: Hilda Andriani de Lima – CRB 8-1861
Margot Terada – CRB8.4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.
Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB.
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900
Site: <<http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS

AVALIAÇÃO DOS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO



Aluno(a):	Gabriela Romeo Delgado	
Título do trabalho:	PROPOSTA DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE UM LAVADOR DE GASES EM INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO SECUNDÁRIO	Turma: 2018

Avaliadores	Nota	Assinatura
Avaliador 1 Nome: Larissa Ciccotti Freire	9,0	
Avaliador 2 Nome: João Vicente de Assunção	9,0	
Orientadora Nome: Lígia Cristina Gonçalves de Siqueira	9,0	
Nota final	9,0	
Aprovado em São Paulo, 24 de fevereiro de 2021		

Ciência do aluno(a) nome:	Assinatura

A aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso não significa aprovação, endosso ou recomendação, por parte da CETESB, de produtos, serviços, processos, metodologias, técnicas, tecnologias, empresas, profissionais, ideias ou conceitos mencionados no trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu noivo, meus pais e a todos os amigos, que me auxiliaram durante toda a minha trajetória e me apoiaram durante todo o decorrer do curso.

Dedico este trabalho para todos os envolvidos que me auxiliaram monetariamente, viabilizando a minha formação no curso de Pós Graduação em “Conformidade Ambiental com os Requisitos Técnicos e Legais” pela Escola Superior da “Companhia Ambiental do Estado de São Paulo” (CETESB), em especial ao Diretor Industrial Ocimar Bulla e ao Gerente da Qualidade Jairo Candido que não mediram esforços para buscar aprovação do Conselho da empresa para que fosse possível viabilizar o meu ingresso na pós graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao Autor da Existência,
Pelo Dom da Vida, por ter me proporcionado concluir mais uma etapa da minha formação acadêmica.

Aos meus pais, Sra. Wilma Romeo Delgado e Sr. Carlos Roberto Delgado,
Pelo amor, encorajamento e apoio incondicional.

Ao meu noivo e futuro esposo Israel Oscar Machado, pelo amor, dedicação e compreensão nos períodos em que precisei estar ausente.

A todas os seres humanos,
Que contribuíram direta ou indiretamente para a formação dos meus princípios e valores: novamente meus genitores, aos docentes e amigos durante toda a minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos e colegas de curso,
Muito obrigada pela amizade, cumplicidade e almoços divertidos de sábados.

À esta Instituição, seu corpo técnico, coordenação e administração,
Que proporcionou a oportunidade de agregar novos conhecimentos e vislumbrar novos horizontes.

A minha orientadora Engenheira PhD. Lígia Cristina Gonçalves de Siqueira,
Os mais sinceros agradecimentos pelo direcionamento, suporte, correções, paciência e incentivos.

Enfim, quero deixar registrado o meu MUITO OBRIGADO a todos que me apoiaram nesta jornada!

“O mundo tornou-se perigoso, porque os homens aprenderam a dominar a natureza antes de se dominarem a si mesmos.” (SCHWEITZER, Albert, s.d.)

RESUMO

O crescimento industrial e populacional levou a formação de grandes metrópoles, com uma ampla necessidade de consumo (nem sempre sustentável) impactando assim no meio ambiente de forma negativa, aumentando a sua carga poluidora, principalmente na atmosfera. Este trabalho tem como objetivo geral apresentar uma proposta de melhoria da eficiência do Lavador de Gases em uma indústria de fundição de alumínio secundário para redução das emissões de material particulado, bem como no seu processo industrial. Foram realizados levantamentos de campo para verificar as características da fonte estudada, identificadas as fontes de emissão e os respectivos poluentes, além das tecnologias de controle, verificado o seu atendimento por meio da análise da eficiência do equipamento de controle de poluição do ar instalado no forno de fusão utilizando a amostragem em chaminé. Com base no estudo, foi possível observar que não há uma legislação e nem padrões de emissões específicos para o setor de fundição de alumínio secundário. Porém na legislação do Estado de São Paulo, para as fontes de poluição que não foram estabelecidos padrões de emissão fica estabelecido que deverá ser implantado equipamento de controle que atenda Melhor Tecnologia Prática Disponível com o mínimo de 95% de eficiência, o que vem sendo praticado pelo setor neste Estado. E por fim, foi realizada a elaboração de propostas de adequações no Equipamento de Controle de Poluição do Ar bem como na área industrial, visando a melhoria da eficiência do equipamento de controle existente e para o processo produtivo.

Palavras-chaves: Equipamento de Controle de Poluição do Ar. Lavador de Gases. Material Particulado. Eficiência de Controle. Emissões Atmosféricas.

ABSTRACT

Industrial and population growth led to the formation of large metropolises, with a wide need for consumption (not always sustainable), thus negatively impacting the environment, increasing its polluting load, especially in the atmosphere. This study main goal is to present a proposal to improve the Scrubber efficiency in a secondary aluminum smelting industry, to reduce particulate matter emissions, and industrial process. Field surveys were carried out to verify the characteristics of the aluminum melting process, the sources of emission and the respective pollutants were identified, in addition to the control technologies available, their compliance was verified through the analysis of the efficiency of the air pollution control equipment installed in the melting furnace using stack sampling. Based on the study, it was possible to observe that there is no specific legislation or standards for the secondary aluminum smelting sector emission. However, in the legislation of the State of São Paulo, for pollution sources that have not established emission standards, must be implemented the Best Available Control Technology with a minimum of 95% efficiency, what is being practiced by the secondary aluminium foundries in this state. Finally, proposals were made to adjust the Air Pollution Control Equipment as well as the industrial area, seeking to improve the control efficiency of the existing equipment and the production process.

Keywords: Air Pollution Control Equipment. Scrubber. Particulate Material. Equipment Control Efficiency. Atmospheric emissions.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – “MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS DOS POLUENTES NOS DIVERSOS ÓRGÃOS E SISTEMAS”	24
FIGURA 2 – “LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA NO ESTADO DE SÃO PAULO DAS ESTAÇÕES DA REDE AUTOMÁTICA NO ANO DE 2019”	29
FIGURA 3 – “LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA NO ESTADO DE SÃO PAULO DAS ESTAÇÕES E PONTOS DE AMOSTRAGEM DA REDE MANUAL NO ANO DE 2019”	29
FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO SECUNDÁRIO	66
FIGURA 5 – TORRE DE SPRAY.....	48
FIGURA 6 – TORRE DE SPRAY CICLÔNICA	50
FIGURA 7 – LAVADOR DINÂMICO	51
FIGURA 8 – LAVADOR DE TORRES DE BANDEJA.....	53
FIGURA 9 – LAVADOR DE GASES VENTURI	54
FIGURA 10 – LAVADOR DE ORIFÍCIO	56
FIGURA 11 – ETAPAS DE EXECUÇÃO DO ESTUDO DE CASO	75
FIGURA 12 – BAIA DE LIGAS DE ALUMÍNIO.....	78
FIGURA 13 – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA LIGA COM CORRESPONDÊNCIA VISUAL (COR PARA CADA LIGA)	79
FIGURA 14 – VISTA LATERAL DO ELEVADOR DE CAÇAMBAS DO FORNO.....	79
FIGURA 15 – FORNO DE TORRE DE FUSÃO DE ALUMÍNIO.....	80
FIGURA 16 – PANELA DE TRANSPORTE DE ALUMÍNIO LÍQUIDO DO FORNO DE FUSÃO PARA AS INJETORAS DE ALTA PRESSÃO.....	80
FIGURA 17 – EQUIPAMENTO FOUNDRY DEGASSING UNIT (FDU) – UNIDADE DE DESGASEIFICAÇÃO DE FUNDIÇÃO	81
FIGURA 18 – EQUIPAMENTO FOUNDRY DEGASSING UNIT (FDU) – UNIDADE DE DESGASEIFICAÇÃO DE FUNDIÇÃO EM FUNCIONAMENTO.....	81
FIGURA 19 – LIMPEZA DA BORRA DE ALUMÍNIO POR MEIO DE FLUXO ESCORIFICANTE.....	82
FIGURA 20 – EMPILHadeira REALIZANDO O TRANSPORTE DA “PANELA” REFRATÁRIA	82
FIGURA 21 – TRANSFERÊNCIA DO ALUMÍNIO LÍQUIDO DA “PANELA” REFRATÁRIA PARA O FORNO DE ESPERA DA INJETORA	83
FIGURA 22 – FORNO BARRIL BASCULANTE	83

LISTA DE FIGURAS

continuação

FIGURA 23 – BORRA DE ALUMÍNIO	84
FIGURA 24 – INJETORA DE ALUMÍNIO LÍQUIDO EM ALTA PRESSÃO	85
FIGURA 25 – MOLDE DE TAMPA DE VÁLVULA	85
FIGURA 26 – PEÇA INJETADA	86
FIGURA 27 – VISTA DO TELHADO	87
FIGURA 28 – CROQUI DO LAVADOR DE GASES	91
FIGURA 29 – DROSS COOLER.....	105
FIGURA 30 – EXEMPLOS DE BRIQUETES DE MATERIAIS METÁLICOS E INORGÂNICOS	105
FIGURA 31 – CAMINHÃO TRANSPORTADOR DA LIGA LÍQUIDA DE ALUMÍNIO	106

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – TECNOLOGIAS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR MAIS UTILIZADAS PARA MATERIAL PARTICULADO	44
QUADRO 2 – CONTROLE DAS PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÃO	68
QUADRO 3 – ALGUMAS METODOLOGIAS RECOMENDADAS PELA CETESB PARA AMOSTRAGEM EM CHAMINÉ DE MATERIAL PARTICULADO	59
QUADRO 4 – PRINCIPAIS LEGISLAÇÕES APLICÁVEIS AO CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR	71
QUADRO 5 – PRINCIPAIS LEGISLAÇÕES ESTADUAIS APLICÁVEIS.....	74
QUADRO 6 – FONTES DE EMISSÃO DO EMPREENDIMENTO.....	87
QUADRO 7 – CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DO LAVADOR DE GASES	90

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PRINCIPAIS RESULTADOS DA AMOSTRAGEM EM CHAMINÉ DE MATERIAL PARTICULADO DO LAVADOR DE GASES	92
TABELA 2 – COMPARATIVO ENTRE O PROJETO E OS DADOS DE AUTOMONITORAMENTO	94
TABELA 3 – CÁLCULO DA RELAÇÃO LÍQUIDO-GÁS	96
TABELA 4 – COMPARATIVO ENTRE O FATOR DE EMISSÃO DA EMPRESA E REFERÊNCIAS (USEPA)	96
TABELA 5A – DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS PARTÍCULAS COM BASE NA REFERÊNCIA USEPA, CAPÍTULO 12-8	97
TABELA 5B – CÁLCULO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO DA EMPRESA EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA	98
TABELA 5C – COMPARAÇÃO DO FATOR DE EMISSÃO DA EMPRESA EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA DA EMPRESA COM A REFERÊNCIA USEPA, CAPÍTULO 12-8	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ago	Agosto
CADRI	Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
DD	Decisão de Diretoria
Dez	Dezembro
ECP	Equipamento de Controle de Poluição
EUA	Estados Unidos da América
FDU	<i>Foundry Degassing Unit</i> – Unidade de Desgaseificação de Fundição
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HAPs	<i>Hazardous Air Pollutants</i> – Poluentes Perigosos do ar
HP	<i>Horse Power</i> – cavalo valor
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ISE	Índice de Sustentabilidade Empresarial
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> – Organização Internacional de Normalização
Jan	Janeiro
Jul	Julho
Jun	Junho
Kg/h	Quilograma(s) por hora
Km	Quilômetro(s)
L/G	Líquido-gás
L/h	Litro(s) por hora
L/m ³	Litro(s) por metro cúbico
LME	Limite Máximo de Emissão

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

continuação

LOR	Renovação da Licença de Operação
m	Metro(s)
m/s	Metro(s) por segundo(s)
m ³ /h	Metro(s) cúbico(s) por hora
Mai	Maio
Mar	Março
MMA	Ministério do Meio Ambiente
mmca	Milímetro(s) de Coluna d'água
MP	Material Particulado
MTPD	Melhor Tecnologia Prática Disponível
NAAQS	<i>National Ambient Air Quality Standards</i> – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Ambiente
NO	Monóxido de Nitrogênio
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
Out	Outubro
PF	Padrão de qualidade do ar final
pH	Potencial hidrogeniônico
PI	Padrões de qualidade do ar intermediários
PMEA	Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas
PQAr	Padrões de Qualidade do Ar
PREFE	Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias
PRFV	Plástico reforçado por fibra de vidro
Prof.	Professor
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
rpm	Rotação por minuto
Set	Setembro
SO ₂	Dióxido de enxofre

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS*continuação*

SO ₃	Trióxido de enxofre
SO _x	Óxido de enxofre
UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
un.	Unidade(s)
USEPA	United States <i>Environmental Protection Agency</i> – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
1°	Primeiro
2°	Segundo
³	Cúbico
3°	Terceiro
I	Primeiro
II	Segundo
III	Terceiro
IV	Quarto
n°	Número
±	Mais ou Menos
°C	Grau(s) Celsius
°F	Grau(s) Fahrenheit
V	Quinto
VI	Sexto
XIII	Treze
XIV	Quatorze
XV	Quinze
XX	Vinte
µm	Mícron

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
2 OBJETIVOS	26
2.1 OBJETIVO GERAL.....	26
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	26
3 JUSTIFICATIVA.....	27
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	32
4.1 POLUIÇÃO DO AR.....	32
4.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS	33
4.2.1 Tipos de Poluentes Atmosféricos.....	34
4.2.2 Padrões de Qualidade do Ar e Saturação Atmosférica.....	36
4.2.3 Padrões e Limites de Emissões Atmosféricas	38
4.3 FONTES DE POLUIÇÃO DO AR E SUA CLASSIFICAÇÃO	40
4.4 CONTROLE DAS EMISSÕES ATMOSFERICAS.....	41
4.4.1 Sistema de Ventilação Local.....	45
4.5.1.1 Sistema de Ventilação Local Diluidora (SVLD).....	45
4.5.1.2 Sistema de Ventilação Local Exaustora (SVLE).....	46
4.4.2 Tecnologias de Controle Aplicáveis – Lavador de Gases.....	47
4.4.3 Monitoramento das Emissões Atmosféricas.....	56
4.4.4 Principais Vantagens e Desvantagens do Uso do Lavador de Gases	60
4.4.5 A Importância da Operação e Manutenção dos Equipamentos de Controle de Poluição do Ar	61
4.4.6 Indicadores de Desempenho.....	62
4.5 PROCESSO DE FUNDIÇÃO DE ALUMINIO	64
4.5.1 Descrição do Processo.....	64
4.5.2 Fontes e Características das Emissões do Processo.....	67
4.5.3 Controle das Fontes de Emissões da Fundição de Alumínio Secundário.....	68

4.6 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL	69
4.6.1 Federal.....	69
4.6.2 Estadual (São Paulo).....	72
4.6.3 Municipal.....	74
5 METODOLOGIA.....	75
6 ESTUDO DE CASO	77
6.1 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO E SUA LOCALIZAÇÃO	77
6.2 DESCRITIVO DO PROCESSO PRODUTIVO	77
6.2.1 Sistema de Ventilação Local Diluidora Fabril.....	86
6.2.2 Fontes Emissões Atmosféricas do Empreendimento.....	87
6.2.3 Descrição e Funcionamento do Sistema de Lavagem De Gases.....	88
6.2.4 Características Técnicas do Lavador de Gases Estudado	89
6.2.4.1 Características Nominais do Lavador de Gases.....	89
6.2.4.2 Croqui do Equipamento.....	90
6.3 RESULTADOS	92
6.3.1 Resultados Obtidos no Monitoramento de Emissões Atmosféricas.....	92
7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	94
8 PROPOSTA DE PLANO DE MELHORIAS DE CONTROLE DAS EMISSÕES	100
8.1 MELHORIAS PROPOSTAS PARA O SISTEMA DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR.....	100
8.2 MELHORIAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO EM RELAÇÃO ÀS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.....	102
9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	108
REFERÊNCIAS	110

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios a poluição do ar faz parte da vida dos seres humanos. Porém era advinda de fonte natural, tais como: erupções vulcânicas, queimada nas florestas, decomposição da matéria orgânica, entre outros. Mais tarde, a intensificação das atividades antropogênicas trouxe maior contribuição para a poluição atmosférica com o cozimento de alimentos, aquecimento residencial e manufatura. Com a expansão da urbanização, as fontes de poluição multiplicaram-se e concentraram-se (ALVARES JR, 2002).

Há relatos que registram a preocupação da sociedade com a poluição do ar e execução de ações que visão reduzir. Nesse sentido, em 1272 na Inglaterra, foi promovido pelo Rei Eduardo I as primeiras ações conhecidas para o banimento do uso de um determinado tipo de carvão. Ricardo III e Henrique V também restringiram o uso de carvão na Inglaterra nos séculos XIV e XV, respectivamente. Mais do que qualquer outro material, o carvão foi o grande responsável pela Revolução Industrial, mas com ele intensificou-se a poluição urbana (ALVARES JR, 2002).

Apesar do intenso desenvolvimento econômico induzido pela industrialização, que de certa forma dificultava o reconhecimento e a aceitação da gravidade do problema para uma grande parcela da sociedade (ALVARES JR, 2002).

Em 1952 em Londres, mesmo em área urbanizada, era comum a convivência com a fumaça. Devido ao frio, era comum e constante a queima de carvão para o aquecimento dos ambientes internos, bem como o uso de vapor nas indústrias e veículos. Porém, o que não era esperado é que esse crescimento de forma descontrolada da queima de combustíveis fosse tanto no transporte como nas indústrias cobrasse um preço, como aconteceu no Grande Nevoeiro de 1952 (O ARQUIVO, 2019).

Evidentemente, esses atos geravam perigos para a saúde humana como para o meio ambiente.

Em 1920 houve protestos ambientais que foram ignorados pelo governo. As indústrias que emitiam fumaça com dióxido de enxofre na atmosfera demoraram a para assumir a culpa pelas emissões. Porém, quando se evidenciou que deveria penalizar o responsável pelas 4000 pessoas que vieram a óbito, conforme a lista oficial, foram estabelecidas diretrizes rigorosas (O ARQUIVO, 2019).

O triste acontecimento gerou comoção e ao longo dos anos subsequentes foi regulamentado pelo governo legislação ambiental para evitar que se repetisse um novo episódio semelhante. Acredita-se que o Grande Nevoeiro de 1952 foi responsável por ceifar a vida de 12.000 londrinos e deixado 100.000 convalescentes. As pessoas acreditam ter atitudes como descartar um resíduo no chão, por exemplo, não haverá consequências. O Grande Nevoeiro de Londres é a prova disso (O ARQUIVO, 2019).

Com a Revolução Industrial, houve a identificação de novas fontes de poluição, como por exemplo, a queima de combustíveis fósseis pelos motores, processos de combustão, o aumento das indústrias siderúrgicas; gerando danos à saúde humana devido à falta de acompanhamento e regulação de emissões de poluentes (COELHO, 2007; MARIO, 2012).

1.1 EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR NA SAÚDE E MEIO AMBIENTE

A poluição do ar pode causar inúmeros danos à flora, fauna, ao clima, ao patrimônio histórico, cultural e a saúde humana.

Porém, para a saúde humana e dos animais, pode proporcionar efeitos crônicos que pode gerar ou agravar doenças como, por exemplo: asma brônquica, doença obstrutiva crônica, bronquite crônica, enfisema pulmonar e câncer de pulmão” (ABREU, 2005).

Conforme BÖHM (1989 apud ABREU, 2005) em sua publicação sobre “Poluição do Ar em São Paulo, quando o ar está ruim: muitas pessoas sentem ardência nos olhos, nariz, garganta, traqueia e, por vezes, tosse. Enquanto, agudas e passageiras, as inflamações não são alterações preocupantes, entretanto, se crônicas transformam-se em doenças que podem complicar”.

Além disso, pode provocar a degradação paisagística, reduzir a fotossíntese afetando o desenvolvimento das árvores e produção de frutos. E pode afetar também a aparência de monumentos e prédios, que podem ser corroídos, sujos e desgastados, inclusive pela chuva ácida. (ABREU, 2005).

Ainda segundo Abreu (2005), as alterações climáticas podem afetar a saúde humano de várias maneiras, como por exemplo: tempestades, furacões e inundações que ceifam a vida de milhares de pessoas por ano, podendo comprometer o abastecimento de água e alimentício; as secas podem causar fome e desnutrição e chuvas fortes podem estimular a disseminação de doenças como a dengue e malária.

Na vida urbana, o indivíduo é assolado por inúmeras substâncias tóxicas e os impactos desses agentes nocivos para saúde dos seres humanos não podem ser avaliados isoladamente, visto que devemos considerar também a ampliação de seus efeitos, quando em sinergia, o que conseqüentemente aumenta seu caráter nocivo (ROBINS, 2005).

Robbins & Contran (2005) ensinam que o depósito e remoção de partículas inaláveis pelos pulmões depende de seu tamanho, uma vez que as partículas ambientais são heterogêneas no tamanho e composição química. Os pulmões são o principal alvo dos poluentes atmosféricos, colocando as crianças na mesma categoria dos asmáticos e dos portadores de doenças cardiopulmonares crônicas, pois são especialmente vulneráveis.

De acordo com o NAAQS – *National Ambient Air Quality Standards*: “Material Particulado (MP) se deposita no aparelho respiratório por meio de: impactos inertes; sedimentação; difusão; intercepção e deposição, o que se verifica em razão da mudança súbita na direção da corrente aérea e sua velocidade. Assim não só a sedimentação, mas também a impactação pode influenciar na deposição de partículas dentro da mesma faixa de tamanho. A deposição é a deposição relacionada a carga da partícula. A quantidade de material depositado é diretamente relacionada aos efeitos na saúde humana. Assim dependendo da origem, da composição química e do tamanho da partícula, o efeito do material particulado é diferente” (OLMO, 2010 apud USEPA, 2009).

De acordo com WHO (1979), “em relação as partículas maiores (5 a 30 μ m de diâmetro), são depositadas através do impacto da turbulência do ar, no nariz, na boca, na faringe e na traqueia. Já as partículas de 1 a 5 μ m, em suma se depositam por meio da sedimentação na traqueia, nos brônquios e nos bronquíolos. E as partículas com menos de 1 μ m de diâmetro, onde se depositam por difusão nos pequenos bronquíolos e alvéolos. Quando as partículas que dissolvem no catarro estas são eliminadas por expectoração ou depois de engolidas eliminadas pelo sistema digestório. Já nos alvéolos as partículas podem se dispersar no sistema linfático ou sanguíneo”.

“O Material Particulado pode ser responsável pelo aumento de sintomas respiratórios e diminuição da função pulmonar em crianças, aumento da mortalidade em pacientes com patologias pulmonares e cardiovasculares, bem como a piora das crises asmáticas e de neoplasias” (*Committee of the Environmental*, 1996).

Os mecanismos envolvidos são apresentados na Figura 1, a seguir:

Figura 1 – “Mecanismos fisiopatológicos dos poluentes nos diversos órgãos e sistemas”



Fonte: Pope III C A, Dockery D W. Health Effects of Fin Particulate Air Pollution; Lines that Connect. J. of the Air & Waste Management Association 2006; 56: 709-742.

A poluição do ar pode ser a principal motivação de doenças e mortes. O impacto do material particulado fino na saúde humana tem maior significância, uma vez que a concentração ambiental é influenciada por aerossóis secundários que se formam quimicamente na atmosfera a partir de outras emissões, além das emissões primárias (BOUBEL et al., 1994). As autoridades começaram a se preocupar com esse assunto, o qual se tornou de importância mundial. No Brasil para tentar conter a situação e minimizar esta problemática, foram criadas legislações específicas elaboradas no decorrer dos anos.

“Estima-se que 2,34 milhões de pessoas morram a cada ano, no mundo, em decorrência de acidentes e doenças ocupacionais. A maioria desses casos – aproximadamente 2,02 milhões – deve-se à variedade de adoecimentos relacionados ao trabalho” (INTERNATIONAL LABOR OFFICE, 2013).

Segundo Salgado (2003), no que se refere as partículas presentes na atmosfera, apresentam dimensões que variam de aproximadamente $0,005\mu\text{ m}$ até $100\mu\text{ m}$ de diâmetro aerodinâmico. E segundo Silva (2010), a dimensão das partículas está correlacionada a sua capacidade de ocasionar problemas relacionados à saúde humana, pois quanto menor o tamanho da partícula, mais efeitos danosos ela poderá causar (SILVA, 2010).

Segundo a USEPA (2003), “as partículas inaláveis, além de criarem problemas de visibilidade e incômodo para a população atingida, causam problemas de saúde, incluindo riscos maiores de doenças cardíacas e pulmonares. Diversos estudos mostram que as partículas inaláveis grossas (2,5 m a 10 m) são menos prejudiciais à saúde humana, pois, quando inaladas, são filtradas nos pelos do nariz ou retidas na garganta. Entretanto, por se acumularem nas vias aéreas superiores, agravam problemas como a asma em pessoas com deficiência respiratória. Ao contrário, as partículas inaláveis finas (diâmetro inferior a 2,5 m) chegam aos brônquios e aos alvéolos pulmonares. Nas vias aéreas inferiores não há mecanismos eficientes de expulsão dessas partículas. Importante salientar que tais partículas possuem a capacidade de adsorver e transportar poluentes com efeitos tóxicos e carcinogênicos até o trato respiratório, como metais tóxicos e compostos orgânicos tóxicos” (BRAGA et al., 2002; SALGADO, 2003).

Diante disso, para redução dos efeitos adversos ocasionados por meio das emissões de material particulado oriundos da indústria de fundição de alumínio secundário na qualidade do ar e o bem-estar social, é necessário a redução das emissões e adoção de medidas de controle da poluição atmosférica, requerendo assim, uma análise técnica.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem seus objetivos divididos em: objetivos gerais e objetivos específicos.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é apresentar uma proposta de melhoria da eficiência do Lavador de Gases para atender critérios de Melhor Tecnologia Prática Disponível em uma indústria de fundição de alumínio secundário para redução das emissões de material particulado, bem como melhorias para o processo produtivo e operações realizadas em geral.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Os objetivos específicos são:

- Fazer um levantamento das etapas do processo de fabricação de fundição de alumínio secundário;
- Identificar as principais fontes de poluição do ar e seus respectivos poluentes;
- Identificar as tecnologias de controle implantadas na unidade;
- Verificar o atendimento ao critérios de Melhor Tecnologia Prática Disponível;
- Propor melhorias no controle das emissões e adequações na tecnologia de controle implantada (lavador de gases), incluindo melhorias para o processo industrial e operações.

3 JUSTIFICATIVA

O cenário de desenvolvimento atual, nos leva a crer que a tendência das atividades industriais é expandir cada vez mais. Diante disto, devemos buscar o crescimento sustentável, ou seja, o desenvolvimento em equilíbrio entre as necessidades econômicas e a proteção ambiental, a fim de evitar a reincidência dos erros cometidos no século passado; onde a falta de conhecimento e o uso exacerbado dos recursos levaram milhares de pessoas à morte. Adotar uma gestão ambiental consciente pode contribuir consideravelmente com a preservação do meio ambiente.

Segundo Lyra (2008), nos últimos 50 anos, grandes avanços em pesquisa e desenvolvimento no campo da poluição atmosférica foram observados nos Estados Unidos da América (EUA), com a promulgação do *Clean Air Act* (Ato do Ar Limpo) em 1963, que introduziu a definição de padrões de emissão para os veículos automotores e, posteriormente, a emenda estabeleceu padrões de emissão para fontes estacionárias.

Outro fator importante é a redução de saturação de bacias aéreas (poluentes lançados na atmosfera), para que regiões ou sub-regiões tendam a não ultrapassar os valores máximos dos padrões de qualidade do ar. A saturação de bacias aéreas é verificada por meio do monitoramento da qualidade do ar.

“O monitoramento da qualidade do ar é realizado para determinar o nível de concentração dos poluentes na atmosfera. Os resultados não só permitem um acompanhamento sistemático da qualidade do ar na área monitorada, como também constituem elementos básicos para elaboração de diagnósticos da qualidade do ar, subsidiando ações para o controle das emissões, com vistas à saúde e melhoria da qualidade de vida da população” (FEEMA, 2007).

Deste modo, há a necessidade de se conhecer a qualidade do ar, uma vez que o ar é diretamente influenciado por meio da intensidade e distribuição das emissões de poluentes atmosféricos provenientes de indústrias e veículos.

Em relação as emissões provenientes dos veículos automotores, estas estão em evidências no quesito poluição do ar em grandes metrópoles, devido a fácil locomoção por veículos, e, em relação as indústrias, se evidenciam que as emissões significativas no seu entorno, sendo que ambas em grandes concentrações, podem contribuir para alterar a qualidade do ar local. Devido a estes fatores, no Estado de São Paulo, foi instituído o Decreto Estadual nº 59.113, de 23 de Abril de 2013, onde para a avaliação da qualidade do ar, foram estabelecidos os padrões de qualidade que devem ser atendidos.

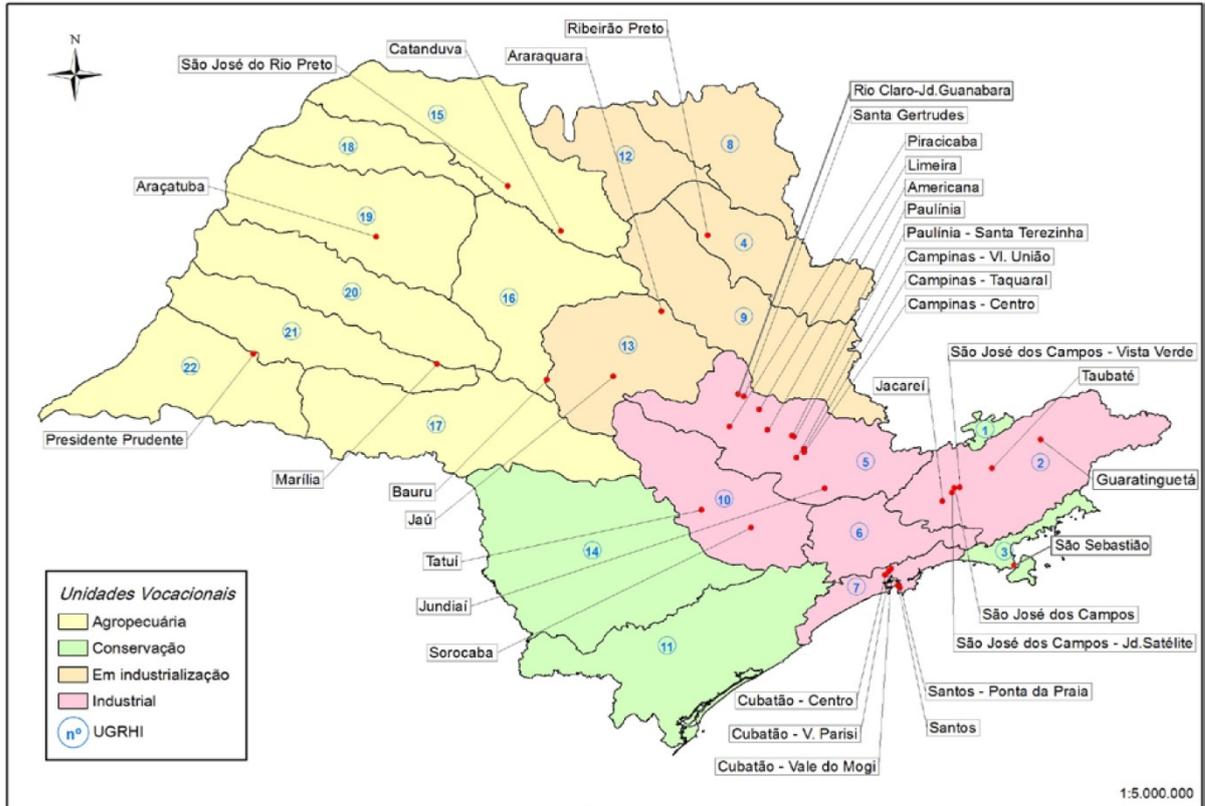
Portanto, para verificar se a qualidade do ar está dentro dos limites fixados pelos padrões de qualidade do ar, devem ser realizadas análises periódicas por laboratórios acreditados ou através do monitoramento contínuo por equipamento automático. Conforme o Relatório de Qualidade do Ar de 2019, as redes de monitoramento da CETESB compostas da seguinte forma:

“- Rede Automática foi composta, em 2019, por 62 estações fixas e duas estações móveis que monitoraram em 36 municípios, pertencentes a 12 UGRHIs. Os municípios da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), pertencentes à UGRHI 6, contaram com 29 estações fixas e uma estação móvel, enquanto as outras 11 UGRHIs contaram com 33 estações fixas e uma estação móvel. Nesta tabela, as UGRHIs estão agrupadas de acordo com as unidades vocacionais.

- Rede Manual de monitoramento da qualidade do ar, em 2019, contou com 23 locais de amostragem distribuídos em 17 municípios, pertencentes a 7 UGRHIs.” (CETESB, 2020)”.

Nas Figuras 2 e 3, podemos identificar os pontos de localização das redes automáticas e manuais distribuídas pelo Estado de São Paulo.

Figura 2 – “Localização geográfica no Estado de São Paulo das estações da rede Automática no ano de 2019”.



Fonte: CETESB (2019).

Figura 3 – “Localização geográfica no Estado de São Paulo das estações e pontos de amostragem da Rede Manual no ano de 2019”.



Fonte: CETESB (2019).

Apesar da existência de legislação e políticas públicas voltadas para a mitigação da poluição do ar, é notório não ser suficiente. É necessário ter simultaneamente uma gestão ambiental com a implantação de medidas sustentáveis eficazes e maior fiscalização para apurar o cumprimento das legislações aplicáveis.

Os empreendimentos que buscam a conformidade ambiental e buscam aplicar a Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD), podem gozar de certos “benefícios”, como por exemplo:

- a) Posicionamento de destaque no Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE);
- b) Obter prioridade no ato da solicitação da Renovação da Licença de Operação (LOR) caso seja integrantes do “Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias” (PREFE);
- c) Competitividade sendo empresas pioneiras, se antecipando às regulamentações e influenciando o ambiente regulatório;
- d) Otimização da administração de recursos humanos, energéticos e materiais, gerando impacto positivos nas contas de consumo;
- e) Redução dos riscos de acidentes ecológicos;
- f) Consolidação da imagem da empresa perante a comunidade, fornecedores, stakeholders, clientes e autoridades, agregando valor a longo prazo”;
- g) Visibilidade do modelo de negócio com foco em “gerenciamento verde”, podendo usufruir da imagem na disseminação da marca com o *Marketing Verde*, pois está em destaque essa na Europa e vem se fortalecendo de forma considerável no Brasil”.

A partir dos levantamentos realizados, pode-se observar que há deficiência de estudos voltados para melhoria da eficiência de tecnologias de controle de poluição do ar.

Em 2019, segundo a Associação Brasileira do Alumínio (2019), o Brasil destacou-se como líder em reciclagem de alumínio com a marca de 97,6%, sendo que foram comercializadas 375,5 mil toneladas. Um vantagem a ser destacada é que o alumínio secundário, proveniente da reciclagem de alumínio, economiza 95% da energia necessária em relação a produção do alumínio primário.

Desta forma, o presente trabalho abordará o levantamento das emissões atmosféricas oriundas de uma unidade industrial, mais especificamente de uma indústria de fundição de alumínio secundário, fontes de emissão e aos principais poluentes, além de incluir a proposta de medidas de melhoria e equipamentos de controle adequados ao processamento industrial para atender os critérios de Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD); uma vez que não foram encontrados estudos que contemplavam propostas para melhoria de equipamentos de controle de poluição do ar especificamente para o setor de fundição de alumínio secundário.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 POLUIÇÃO DO AR

Há relatos que desde que surgiram os primeiros seres vivos na superfície terrestre, a degradação vem ocorrendo de forma intensa sobre a natureza. Aproximadamente 800 mil anos antes de Cristo, a partir da descoberta do fogo, a contribuição aumentou de forma inconsciente e aumentou a deterioração da qualidade do ar e a população mundial passou a sofrer as consequências desse ato” (BRAGA et al. 2001).

No século XX ocorreu o clímax da interferência do ser humano no planeta, devido a criação de motores a combustão que utilizam combustíveis fósseis como fonte energética, além do início das atividades siderúrgicas e utilização de produtos químicos. Esse desenvolvimento não ocorreu de forma assistida para mensurar o impacto das atividades ao meio ambiente, sendo assim, nas últimas décadas estamos evidenciando resultados calamitosos em função desse desenvolvimento industrial e suas consequências danosas para o planeta e os seres vivos (BRAGA et al. 2001).

Segundo Braga et al. (2001) o ar tem sido o elemento mais agredido pelo homem, que é imprescindível para a vida. Porém não recebeu a devida atenção por ser abundante, inodoro e invisível; e as suas características foram sendo alteradas com o progresso da humanidade.

Na era pré-cristã surgiram as primeiras preocupações referente a qualidade do ar, pois devido a utilização do carvão como combustível, os municípios apresentavam qualidade do ar aquém do desejável e foi sendo agravada durante os primeiros séculos da era pós-cristã (BRAGA et al. 2001).

Na primeira metade do século XX, o desenvolvimento de centros urbanos industrializados propiciou o aumento da poluição atmosférica, que em sinergia com a presença crescente de veículos automotores, causou diversos problemas ambientais.

“A poluição do ar pode ser definida como a presença de contaminantes ou de substâncias poluidoras no ar atmosférico, sejam eles gases, materiais particulados e compostos orgânicos voláteis, que interfiram na saúde e no bem-estar humano, ou ainda causem efeitos danosos ao meio ambiente” (INCA, 2018). E também, “como a presença de substâncias estranhas na atmosfera, resultantes da atividade humana ou de processos naturais, em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem-estar dos seres vivos” (ELSON, 1992).

No âmbito do Estado de São Paulo, foi instituída em 31 de Maio de 1976 a “Lei Estadual nº 997, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente”, onde, com base no seu artigo 2º, pode-se definir a poluição do ar como:

“A presença, o lançamento ou a liberação no ar de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, em quantidade, de concentração ou com características em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência desta Lei, ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou solo:

- I. Impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde;
- II. Inconvenientes ao bem-estar público;
- III. Danosos aos materiais, à fauna e à flora;
- IV. Prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais, da comunidade.”

4.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

De acordo o “Decreto Estadual nº 8.468 e alterações, de 08 de Setembro de 1976”, Capítulo I, com base no seu artigo 3º, considera-se poluente do ar:

“Toda e qualquer forma de matéria ou energia lançada ou liberada no ar:

- I. Com intensidade, em quantidade e de concentração, em desacordo com os padrões de emissão estabelecidos neste regulamento e normas dele decorrentes;
- II. Com características e condições de lançamento ou liberação, em desacordo com os padrões de condicionamento e projeto estabelecidos nas mesmas prescrições;
- III. Por fontes de poluição com características de localização e utilização em desacordo com os referidos padrões de condicionamento e projeto;
- IV. Com intensidade, em quantidade e de concentração ou com características que direta ou indiretamente, tornem ou possam tornar ultrapassáveis os padrões de qualidade do meio ambiente estabelecidos neste regulamento e normas dele decorrentes;
- V. Que, independentemente de estarem enquadrados nos incisos anteriores, tornem ou possam tornar o ar impróprios nocivos ou ofensivos à saúde; inconvenientes ao bem-estar público danosos aos materiais a fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade.”

“A medição sistemática da qualidade do ar é restrita a um número de poluentes, definidos em razão de sua importância e dos recursos disponíveis para seu acompanhamento” (CETESB, 2020).

“O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. Devido a abundância de substâncias que podem ser encontradas na atmosfera, torna-se difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Para facilitar essa classificação, esses poluentes que se originam de atividades antrópicas ou naturais e podem ser divididos em poluentes primários e poluentes secundários” (CETESB, 2020).

De acordo com o “Decreto Estadual nº 59.113, de 23 de Abril de 2013, em seu artigo 1º, os poluentes são classificados em”:

I. Poluentes primários: aqueles diretamente emitidos pelas fontes de poluição, tais como, partículas em suspensão, monóxido de carbono e dióxido de enxofre;

II. Poluentes secundários: aqueles formados a partir de reações entre outros poluentes, tal como o Ozônio (O₃);”

Segundo CAVALCANTI (2010) “o grupo de poluentes consagrados universalmente como indicadores mais abrangentes da qualidade do ar é composto pelos gases monóxido de carbono, dióxido de enxofre, ozônio e dióxido de nitrogênio, além dos materiais particulados, partículas inaláveis finas, fumaça e partículas totais em suspensão”. E conforme a CETESB (2020), esses parâmetros foram escolhidos “como indicadores de qualidade do ar devido a sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam à saúde e ao meio ambiente”.

4.2.1 Tipos de Poluentes Atmosféricos

Os poluentes que se destacam são:

Os tipos de poluentes atmosféricos são identificados a partir da sua composição química. Conforme “Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo” (CETESB, 2019), os principais poluentes que se destacam são:

- a) **Material Particulado:** a definição de material particulado consta na “Resolução CONAMA n° 382, de 26 de Dezembro de 2006, em seu artigo 3º, inciso II, item C, como: todo e qualquer material sólido ou líquido, em mistura gasosa, que se mantém neste estado na temperatura do meio filtrante, estabelecida pelo método adotado”.
- b) **Óxidos de Enxofre (SO_x):** consta na “Resolução CONAMA n° 382, de 26 de Dezembro de 2006, em seu artigo 3º, inciso II, item E, como: refere-se à soma das concentrações de dióxido de enxofre (SO₂) e trióxido de enxofre (SO₃), sendo expresso como (SO₂)”. E conforme o “Decreto Estadual n° 59113, de 23 de Abril de 2013, em seu artigo 1º, inciso IV, define: óxidos de enxofre: óxidos de enxofre, expressos em dióxido de enxofre (SO₂)”.
- c) **Óxidos de Nitrogênio (NO_x):** consta na “Resolução CONAMA n° 382, de 26 de Dezembro de 2006, em seu artigo 3º, inciso II, item D, como: refere-se à soma das concentrações de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂)”. E ainda conforme o “Decreto Estadual n° 59113, de 23 de Abril de 2013, em seu artigo 1º, inciso V, define: óxidos de nitrogênio: óxido de nitrogênio e dióxido de nitrogênio, expresso em dióxido de nitrogênio (NO₂)”.
- d) **Compostos Orgânicos Voláteis (COV) não-metano:** conforme o “Decreto Estadual n° 59113, de 23 de Abril de 2013, em seu artigo 1º, inciso VI, define: Composto orgânico volátil (COV) não-metano: todo composto orgânico, exceto o metano (CH₄), medido por um método de referência ou determinado por procedimentos estabelecidos pela CETESB”.
- e) **Ozônio (O₃):** O “Oxidantes fotoquímicos” é a nomenclatura estabelecida para “a mistura de poluentes secundários formados a partir de reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, com a presença de luz solar, sendo estes últimos liberados na queima incompleta e evaporação de combustíveis e solventes”. O ozônio (O₃) é o principal produto desta reação, devido a este motivo, ele “é utilizado como parâmetro indicador da presença de oxidantes fotoquímicos na atmosfera. Quando ozônio está localizado na faixa de ar próxima do solo, onde respiramos, chamado de “mau ozônio”, pois é tóxico. No entanto, quando se

encontra na estratosfera (cerca de 25 km de altitude) o ozônio possui a função de proteger a Terra, como um filtro, dos raios ultravioletas emitidos pelo Sol” (CETESB, 2020).

- f) **Monóxido de Carbono (CO):** “É um gás incolor e inodoro que é proveniente da queima incompleta dos combustíveis que possuem origem orgânica (ou seja, combustíveis fósseis, biomassa etc.)”. No que se refere ao meio urbanos, os principais emissores são os veículos automotores, devida a alta circulação de veículos (CETESB,2020).

Sendo assim, a “determinação sistemática da qualidade do ar deve ser, por questões de ordem prática, limitada a um restrito número de poluentes definidos em razão de sua importância e dos recursos materiais e humanos disponíveis” (CETESB, 2020).

Ainda segundo a CETESB (2020), este grupo de poluentes pode ser utilizado “como indicadores de qualidade do ar, pois são adotados universalmente e que foram escolhidos em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos”.

Portanto, fica evidente a necessidade de realizar o monitoramento dos poluentes, uma vez que estes podem causar efeitos adversos nos “receptores, que podem ser o ser humano, os animais, as plantas e os materiais” (CETESB, 2020).

4.2.2 Padrões de Qualidade do Ar e Saturação Atmosférica

“Os Padrões de Qualidade do Ar (PQAr) segundo publicação da Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2005, variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais, que por sua vez dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar”.

Segundo a Resolução CONAMA n° 491, de 19 de Novembro de 2018, em seu artigo 2º, item II, adota a definição que “o padrão de qualidade do ar é 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”.

E ainda divide os padrões de qualidade do ar nacional em duas categorias:

“I. Padrões de qualidade do ar intermediários – PI: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas; e
II. Padrão de qualidade do ar final – PF: valores guia definidos pela OMS em 2005.”

Com isso os impactos ambientais e sociais se tornam cada vez mais alarmantes e preocupantes, embora existam legislações específicas para controlar esta problemática, muitas indústrias ainda passam por problemas de gestão ambiental, a qual tem um papel muito importante de enfatizar a sustentabilidade através da adoção de práticas que buscam reduzir ao máximo os impactos ambientais (PORTAL EDUCAÇÃO, 2012).

No que tange os impactos ocasionados ao meio ambiente, podem ser decorrentes das emissões de poluentes na atmosfera, sendo considerados em escala local, regional ou global. Alguns exemplos destes impactos são: “a precipitação de chuvas ácidas, a redução da camada de ozônio, o efeito estufa, dentre outros” (SILVA, 2016). As chuvas ácidas que podem ocorrer em qualquer local do planeta são responsáveis pela morte das plantas, pela corrosão de metais dos monumentos públicos e também podem afetar a saúde humana (JESUS, 1996).

Além disso, outro efeito notório que deve ser considerado é a saturação das bacias aéreas, de acordo com o Decreto Estadual nº 8.468, de 08 de Setembro de 1976 e alterações “considera-se saturada, em termos de poluição do ar, uma região ou sub-região, quando qualquer valor máximo dos padrões de qualidade do ar nelas estiver ultrapassado. Em regiões ou sub-regiões consideradas saturadas, a CETESB poderá estabelecer exigências especiais para atividades que lancem poluentes e nas regiões ou sub-regiões ainda, não consideradas saturadas, será vedado ultrapassar qualquer valor máximo dos padrões de qualidade do ar”.

De acordo com o banco de dados disponibilizado pela OMS referente a “qualidade do ar em áreas urbanas, 98% das cidades em países considerados de baixa e média renda onde possuem mais de 100 mil habitantes, não atendem as diretrizes de qualidade do ar”. Já em relação aos países de alta renda, esse percentual apresenta-se reduzido para 56%. Em decorrência deste aumento considerável de poluentes emitidos em maiores quantidades nas áreas urbanas, a qualidade do ar se torna ainda mais precária, aumentando a incidência de doenças cardíacas, acidentes vasculares cerebrais, doenças respiratórias crônicas e agudas e câncer de pulmão (OPAS; OMS, 2016).

4.2.3 Padrões e Limites de Emissões Atmosféricas

No que diz respeito a emissão atmosférica, é considerado como o lançamento ou liberação de gases na atmosfera. De acordo com o “Decreto Estadual nº 59113, de 23 de Abril de 2013”, em seu artigo 1º, inciso III, define-se emissões como: “liberação de substâncias para a atmosfera a partir de fontes pontuais ou difusas”.

Segundo MMA (2019), no âmbito federal o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) regulamenta as emissões atmosféricas e por meio de suas resoluções determina os limites máximos de emissões de poluentes. No CONAMA, o MMA e o IBAMA coordenaram as discussões que geraram os novos limites de emissão. Porém, para definir os “limites das emissões industriais, há a importante participação dos órgãos estaduais de meio ambiente na edição das resoluções, tendo em vista seu papel preponderante no licenciamento e na fiscalização destas atividades e o conhecimento empírico que detém da realidade de seus territórios”.

A Resolução CONAMA nº 382, de 26 de Dezembro de 2006, em seu artigo 1º, “estabelece limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas e no parágrafo único define que os limites são fixados por poluente e por tipologia de fonte”.

Conforme o artigo 2º, da referida Resolução, os “limites de emissão de poluentes atmosféricos têm os seguintes critérios mínimos”:

“I. O uso do limite de emissões é um dos instrumentos de controle ambiental, cuja aplicação deve ser associada a critérios de capacidade de suporte do meio ambiente, ou seja, ao grau de saturação da região onde se encontra o empreendimento;

II. O estabelecimento de limites de emissão deve ter como base tecnologias ambientalmente adequadas, abrangendo todas as fases, desde a concepção, instalação, operação e manutenção das unidades bem como o uso de matérias-primas e insumos;

III. Adoção de tecnologias de controle de emissão de poluentes atmosféricos técnica e economicamente viáveis e acessíveis e já desenvolvidas em escala que permitam sua aplicação prática;

IV. Possibilidade de diferenciação dos limites de emissão, em função do porte, localização e especificidades das fontes de emissão, bem como das características, carga e efeitos dos poluentes liberados; e

V. Informações técnicas e mensurações de emissões efetuadas no País bem como o levantamento bibliográfico do que está sendo praticado no Brasil e no exterior em termos de fabricação e uso de equipamentos, assim como exigências dos órgãos ambientais licenciadores”.

E no artigo 3º, inciso I, item H, da referida Resolução, adota-se que “Limite Máximo de Emissão (LME) é a quantidade máxima de poluentes permissível de ser lançada para a atmosfera por fontes fixas”.

“Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo da concentração de poluentes na atmosfera. Já o limite de emissão diz respeito a quantidade máxima de poluentes permissível de ser lançada por determinada fonte na atmosfera” (CONAMA, 1989).

Quando não há limites de emissão preconizado em legislação para uma determinada tipologia, o órgão ambiental licenciador pode estabelecer por meio de condicionantes ou exigências técnicas na licença concedida para a fonte emissora tendo como referência os padrões de qualidade do ar na região de controle onde se encontra o empreendimento (MENDES, 2021). Como boa prática, é recomendado examinar se o segmento industrial possui dados de referência para fontes similares e/ou limites estabelecidos em legislação (internacional, federal, estadual ou municipal) para que desta forma seja implantada a melhor tecnologia prática disponível em seu processo de produção (FILLKPLAS, 2018).

4.3 FONTES DE POLUIÇÃO DO AR E SUA CLASSIFICAÇÃO

De acordo com o Decreto Estadual nº 8468, de 08 de Setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente, em seu artigo 4º “são consideradas fontes de poluição do ar todas e quaisquer atividades, processos, operações e dispositivos móveis ou não que, independentemente de seu campo de aplicação induzam, produzam ou possam produzir a poluição do ar”, tais como: indústrias, veículos automotores, equipamentos, maquinários, queima ao ar livre e outros e que podem ultrapassar os limites estabelecidos na legislação vigente.

As fontes de poluição do ar podem ser classificadas de diversas formas, como:

- a) **Fontes estacionárias:** de acordo com o Resolução CONAMA nº 382, de 26 de Dezembro de 2006, “qualquer instalação, equipamento ou processo, situado em local fixo, que libere ou emita matéria para a atmosfera, por emissão pontual ou fugitiva”.
- b) **Fontes Móveis:** “qualquer instalação, equipamento ou processo natural ou artificial em movimento, que libere ou emita matéria ou energia para a atmosfera” (SEMA, 2014). De acordo com o Decreto Estadual nº 8468, de 08 de Setembro de 1976, são “todos os veículos automotores, embarcações e assemelhados”.

Para a realização de estimativas de emissão de empreendimentos industriais, as fontes de poluição do ar podem ser classificadas da seguinte forma:

- a) **Fontes Fixas:** Segundo definição do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019) “fontes fixas são aquelas que ocupam uma área relativamente limitada, permitindo uma avaliação direta na fonte. As fontes classificadas como fixas referem-se às atividades da indústria de transformação, mineração e produção de energia através de usinas termelétricas”. Exemplos: caldeiras, fornos, flares, incineradores, secadores, entre outros.

- b) **Fontes Evaporativas:** As fontes evaporativas são aquelas provenientes, por exemplo, “de emissões de volatilização de combustíveis, que ocorrem no momento do armazenamento em tanques, como dos postos de gasolina, de fontes industriais (em seus processos) que emitem compostos orgânicos voláteis” (AFFONSO, 2018).
- c) **Fontes Fugitivas:** Segundo a “Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006, define-se emissões fugitivas como, lançamentos difusos na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuada por uma fonte que não possui dispositivo projetado para dirigir ou controlar seu fluxo. Dessa forma, as emissões fugitivas podem ser provenientes de fontes emissoras difusas”. Como exemplo, as emissões fugitivas podem ser compostas de:
- I. **Compostos Orgânicos Voláteis (COVs):** podem ocorrer através de vazamentos em bombas, compressores e válvulas de plantas industriais.
 - II. **Material Particulado:** por meio de incidência de vento em pilhas a céu aberto, lavras, movimentação de materiais pulverulentos, entre outras”.
- d) **Fontes Abertas:** As emissões de fontes abertas são aquelas originadas de áreas a céu aberto, onde o processo de tratamento envolve contato com a água residuária e o ar. Estes tipos de emissão ocorrem em: “bacias de decantação, lagoas de estabilização, reatores abertos como as bacias de tratamento biológico de efluentes líquidos, separadores de água e óleo, redes de drenagem, tanques, ilhas de carregamento e torres de refrigeração” (CETESB, 2019).

4.4 CONTROLE DAS EMISSÕES ATMOSFERICAS

Historicamente ficou evidente que “quando um país subdesenvolvido começa o seu desenvolvimento industrial, a qualidade do ar piora de forma significativa” (BAIRD, 2002).

Segundo Rossano e Thielke (1980 apud SUSUKI, 1999), a eficácia de um sistema de gestão da qualidade do ar está condicionada à qualidade da informação obtida nos monitoramentos ambientais.

A qualidade e a utilização correta dos programas de monitoramento podem trazer grandes benefícios, como por exemplo, à redução da poluição do ar.

Para implantação de políticas de desenvolvimento sustentável é essencial realizar o controle da poluição atmosférica. Para Pires (2005) esse controle é baseado na diminuição das emissões de poluentes primários no ar, devido a serem responsáveis por efeitos adversos e os precursores dos poluentes secundários, que se formam por meio de reações fotoquímicas e químicas.

Segundo Freukiel (1956 apud DERISIO, 2007), no problema de poluição do ar podem ser consideradas quatro etapas, a saber: a geração, a emissão, o transporte e a recepção de poluentes. Aplicando método técnico e científicos comprovados em cada fase, é viável a redução da poluição. Dentre estes métodos têm sido considerados os seguintes:

- a) Zoneamento e planejamento territorial;
- b) Extinção e redução de poluentes;
- c) Diluição e mascaramento dos poluentes;
- d) Quantidade dos poluentes no local para tratamento antes do lançamento;
- e) Equipamentos de controle dos poluentes”.

Segundo a USEPA (2019), ao projetar uma estratégia eficaz para controle da qualidade do ar, deve-se considerar 3 fatores:

- a) Ambientais: fatores como as condições de qualidade do ar ambiente, condições meteorológicas relevantes, localização da fonte de emissões, níveis de ruído e qualquer poluição acessória do próprio sistema de controle.

- b) Engenharia: fatores como características do poluente (como abrasividade, reatividade e toxicidade), características do fluxo de gás, características de desempenho do sistema de controle e utilidades adequadas (por exemplo, água para lavadores úmidos).
- c) Econômico: fatores como custo de capital, custos operacionais, manutenção do equipamento, vida útil do equipamento e custos administrativos, legais e de execução.

Incentivos econômicos, como comércio de emissões, operações bancárias (como financiamentos) e limites de emissões podem ser usados como estratégias que podem ser combinadas com os regulamentos do tipo "comando e controle" que têm sido tradicionalmente usados por agências de controle de poluição do ar.

Também devem ser consideradas abordagens de prevenção da poluição para reduzir, eliminar ou prevenir a poluição em sua fonte. Os exemplos são: usar matérias-primas ou combustíveis menos tóxicos, usar um processo industrial menos poluente e melhorar a eficiência do processo.

Segundo a USEPA (2019), o *Clean Air Technology Center* atua como um recurso em tecnologias de prevenção e controle da poluição do ar, incluindo seu uso, eficácia e custo. Exemplos são coletores mecânicos, depuradores úmidos, filtros de tecido (mangas), precipitadores eletrostáticos, sistemas de combustão (oxidantes térmicos), condensadores, absorvedores, adsorventes e degradação biológica.

O controle de emissões relacionadas ao transporte pode incluir a avaliação da "velocidade do vento e a estabilidade térmica da atmosfera, que são parâmetros importantes para avaliar as condições de dispersão dos poluentes. Boas condições de dispersão significam que os poluentes estão sendo dispersos pelos mecanismos de transporte, evitando assim uma acumulação dos mesmos próximos às fontes de emissão. Se as condições estão desfavoráveis à dispersão, observamos essa acumulação, que resulta em altas concentrações dos poluentes, que muitas vezes ultrapassam os padrões estabelecidos" (IAP, 2012).

“O Controle de emissões consiste em procedimentos destinados à redução ou à prevenção da liberação de poluentes para a atmosfera e implantação de Equipamento de Controle de Poluição do ar, que é o dispositivo que reduz as emissões atmosféricas” (CETESB, 2017). A “Melhor Tecnologia Prática Disponível” (MTPD), segundo a CETESB (2017) é considerada como:

“o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a sustentabilidade prática disponível de uma particular técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente”.

Para a devida identificação das tecnologias de controle de poluição do ar mais utilizadas, foi elaborado o Quadro 1 que apresenta de forma mais sucinta com foco em Material Particulado.

Quadro 1 – Tecnologias de controle de poluição do ar mais utilizadas para Material Particulado

Tecnologia	Poluente	Principais características
Filtro de Tecido	MP	“Os filtros de mangas são constituídos de tecido poroso ou feltrado através do qual os gases são forçados a passar para que as partículas sejam removidas. A utilização de um filtro de mangas requer a seleção de um material de filtração adequado às características dos gases residuais e à temperatura máxima de operação”.
Lavador de gases	MP e SOx	“Os compostos gasosos são dissolvidos num líquido adequado (água ou solução alcalina). Pode efetuar-se a remoção simultânea de compostos sólidos e gasosos. A jusante do lavador, os gases liberados são saturados com água e é necessária uma separação das gotículas antes de descarregar os gases para a atmosfera. O líquido resultante tem de passar por um processo de tratamento de águas residuais e a matéria insolúvel é recolhida por sedimentação ou filtração”.
Lavador de gases tipo Venturi	MP e SOx	“O Lavador tipo Venturi é concebido para utilizar a energia a partir do fluxo de entrada de gás para atomizar o líquido a ser usado para absorver e abater os poluentes. Um lavador Venturi consiste em três seções: uma seção convergente, uma seção de garganta, e uma seção divergente. O fluxo de gás de entrada entra na seção convergente e, como a área diminui, a velocidade do gás aumenta. A solução de lavagem é introduzida, quer na garganta, ou na entrada da seção convergente. O gás é forçado a mover-se a velocidades extremamente elevadas na seção pequena da garganta. Ocorrem na seção da garganta a remoção de gases e partículas, onde o fluxo do gás se mistura com a névoa da solução. A corrente de entrada, em seguida, sai através da seção divergente, sendo lançada para a atmosfera”.
Precipitador Eletrostático	MP	“Os precipitadores eletrostáticos funcionam de modo que as partículas são carregadas e separadas por influência de um campo elétrico. Podem funcionar numa gama variada de condições”.

Fonte: adaptado de CETESB (2017).

Como o foco do trabalho são os lavadores de gases, serão abordados a seguir as principais características e uma descrição mais específica dessa tecnologia, suas vantagens e desvantagens, seu monitoramento, bem como a estrutura do sistema de ventilação local, manutenção e indicadores de desempenho.

4.4.1 Sistema de Ventilação Local

A ventilação define-se como o planejamento da movimentação de ar de forma intencional por meios naturais ou mecânicos visando atingir um determinado objetivo (FILLKPLAS, 2019).

4.5.1.1 Sistema de Ventilação Local Diluidora (SVLD)

Muitas empresas dispõem de um Sistema de Ventilação Local Diluidora (SVLD) que visa controlar a pureza do ar para proporcionar segurança e bem-estar físico aos operadores. Esse sistema consiste em introduzir a corrente de ar externo isento de contaminação no recinto a ser purificado, para eliminar ou reduzir a concentração de substâncias nocivas ou indesejáveis, sendo a forma economicamente mais viável para contaminantes em baixas concentrações ou calor, ou ambos. Pode ser aplicada tanto em ambientes domésticos como industriais. “No caso de ser produzido no ambiente um contaminante indesejável, mesmo a concentrações mínimas, o fator econômico deixa de ser o mais importante” (FILLKPLAS, 2019).

Porém, o simples fato de efetuar a renovação do ar no recinto não o torna salubre, pois é necessário que o mesmo seja distribuído para que a taxa de contaminante seja a mesma em todos os pontos (FILLKPLAS, 2019). “Essa redução ocorre pelo fato de que, ao introduzirmos ar limpo ou não poluído em um ambiente, contendo certa massa de determinado poluente, faremos com que essa massa seja dispersada ou diluída em um volume maior de ar, reduzindo, portanto, a concentração desses poluentes” (SELLET, 2019).

Segundo Mesquita et al. (1988), o sucesso da aplicação do sistema de ventilação local diluidora depende da avaliação dos seguintes fatores:

- “O poluente gerado não deve estar presente em quantidade que excede à que pode ser diluída com um adequado volume de ar;
- A distância entre os trabalhadores e o ponto de geração do poluente deve ser suficiente para assegurar que os trabalhadores não estarão expostos a concentrações médias superiores aos TLV;
- A toxicidade do poluente deve ser baixa (deve ter um alto TLV);
- O poluente deve ser gerado numa quantidade razoavelmente uniforme”.

4.5.1.2 Sistema de Ventilação Local Exaustora (SVLE)

Segundo Mesquita et al. (1988) o sistema de ventilação local exaustora é composto de diversos elementos, dentre os quais podemos citar:

- “Captadores: ponto de entrada dos gases a serem exauridos pelo sistema
- Dutos: responsável pelo transporte dos gases captados
- Ventiladores: responsável pelo fornecimento da energia necessária à movimentação dos gases, pois fornece um diferencial de pressão entre o captor e a saída do sistema”.

Segundo a CETESB (2018), o ventilador “fornece a energia necessária para movimentar o fluido e vencer todas as perdas de carga (resistência) do sistema. O ventilador é o coração de qualquer sistema de ventilação. Ele cria um diferencial de pressão através do sistema que faz o ar fluir. A seleção do ventilador adequado e a sua performance são vitais para o correto funcionamento de todo o sistema”.

“O objetivo principal do sistema de ventilação local exaustora é a proteção da saúde do homem, e todos os demais fatores devem estar condicionados a esse objetivo” (MESQUITA et al. 1988).

A principal característica para o bom funcionamento de um SVLE é a vedação, pois evita perdas na parte da pressão negativa. Neste local o efluente é succionado, e se houver vazamentos, a eficiência de captação de poluentes do sistema será prejudicada e o mesmo poderá ser emitido para locais indesejados, na parte onde há pressão positiva no sistema (HEALTH AND SAFETY AUTHORITY, 2014).

O sistema precisa ser projetado considerando as características do efluente gasoso. Por exemplo, “quando o efluente é inflamável, o material empregado não deve ser capaz de gerar uma fonte de ignição, e há necessidade de ser resistente a abrasão, atrito com poeiras, resistência a corrosão por diferentes substâncias químicas” (HEALTH AND SAFETY AUTHORITY, 2014).

4.4.2 Tecnologias de Controle Aplicáveis – Lavador de Gases

Um lavador de gases é um dispositivo de controle de poluição atmosférica que remove material particulado e gases ácidos de fluxos de gases residuais de fontes pontuais estacionárias. Os poluentes são removidos principalmente através do impactação, difusão, interceptação e / ou absorção do poluente em gotículas de líquido. O líquido contendo o poluente é então recolhido para eliminação (USEPA, 2002).

Conforme USEPA (2002), a eficiência de coleta para lavador úmido varia com a distribuição do tamanho das partículas dos resíduos do fluxo de gás. Em geral, a eficiência da coleta diminui à medida que o tamanho da MP diminui e também conforme o tipo. Melhorias de projetos no lavador de gases aumentam as eficiências de coleta na faixa sub-mícron. Especial atenção deve ser dada também quanto aos parâmetros que influenciam ou regem sua eficiência, tais como: energia introduzida no lavador, perda de carga, granulometria das partículas, entre outros.

Ainda conforme a USEPA (2002), os sistemas de lavadores de gases têm algumas vantagens em relação aos precipitadores eletrostáticos e filtros de mangas pois são menores e mais compactos, menor custo de implantação e operação.

Os lavadores de gases podem ter diversas configurações, das quais, as principais são:

- Torre de Spray

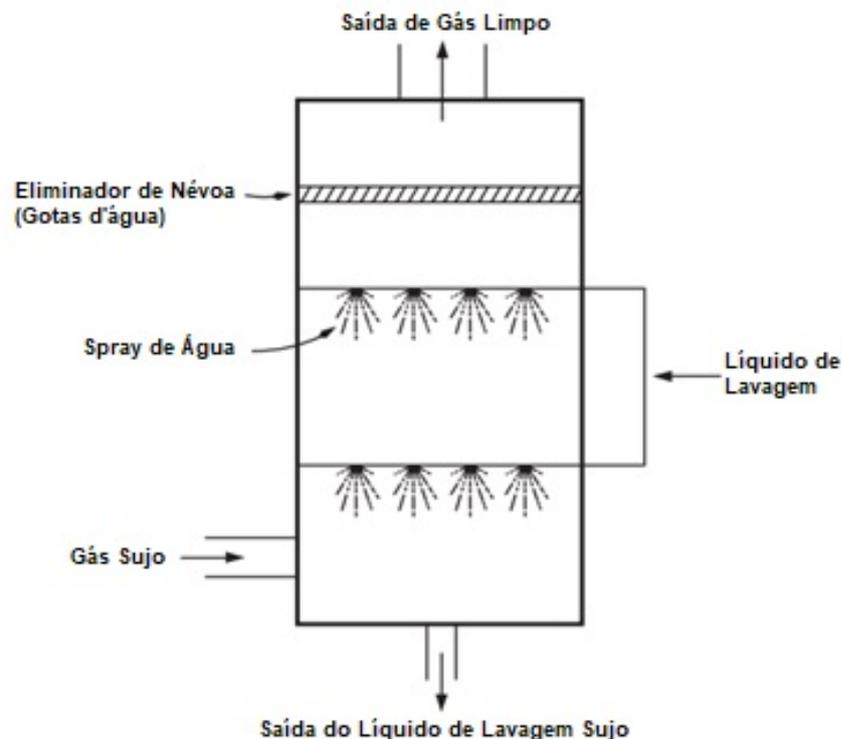
Conforme a USEPA (2002), o tipo mais simples de lavador é a torre de spray, onde o ar carregado de partículas adentra uma câmara onde entra em contato com um spray líquido produzido por bicos de pulverização. As torres de spray podem ser colocadas

em trajetórias de fluxo de gás residual vertical ou horizontal. O spray líquido pode ser direcionado contrário ao fluxo de gás, na mesma direção do fluxo de gás, ou perpendicular ao fluxo de gás.

A Figura 5, a seguir, mostra um exemplo de uma câmara de nebulização vertical em contracorrente.

O fluxo de gás entra pelo fundo da torre e flui para cima. A água escoa para baixo dos bicos aspersores localizados nas paredes da torre ou montados em um arranjo no centro da torre. As gotículas de água capturam partículas suspensa no fluxo de gás através da impactação, interceptação e difusão. As gotas precisam ser grandes o suficiente para remover o material particulado por gravidade e serem direcionadas para a parte inferior da câmara. As gotas carregadas com as partículas no fluxo gasoso arrastadas pelo fluxo gasoso são eliminadas em um eliminador de gotas a montante dos bicos.

Figura 4 – Torre de Spray



Fonte: USEPA (2002).

As torres de spray dependem principalmente da coleta de partículas por impactação; portanto, elas têm alta eficiência de coleta para material particulado (acima de 5 μm). A eficiência de remoção típica para uma torre de spray pode ser de 90% para partículas maiores que 5 μm ; para partículas numa faixa de 3 a 5 μm de diâmetro são de 60 a 80% e abaixo de 3 μm , a eficiência de remoção diminui para menos de 50% (USEPA, 2002). No entanto, as eficiências de controle dependem do projeto, operação e manutenção realizados.

Os lavadores de gases tipo torre de spray podem ser aplicados para controle de emissão de material particulado em operações de moagem, controle de poeira, bem como para secadores de agregados de usinas de asfalto.

Os lavadores de gases tipo torres de spray têm valor de investimento mais baixos do que outros lavadores por via úmida. Além disso, têm menor consumo de energia e não são propensos a incrustações, portanto os custos operacionais também são menores. Os custos operacionais das torres de spray aumentam para aplicações finas de material particulado, porque sistemas exigem altas relações líquido / gás.

- Torre de Spray Ciclônica

As torres de spray ciclônicas diferem dos projetos de torres de spray em que a corrente de gases residuais flui através da câmara em um movimento ciclônico. O movimento ciclônico é produzido por posicionar uma entrada tangencial de gás à parede da câmara de lavagem ou colocando as palhetas no interior da câmara. A entrada de gás é afunilada de modo que a velocidade do gás aumenta quando entra na torre (USEPA, 2002).

O líquido de lavagem é pulverizado pelos bicos em um tubo central (entrada tangencial) ou a partir das palhetas localizadas no topo da torre. As gotículas líquidas arrastadas no fluxo do gás por uma força centrífuga resultante do movimento de rotação do fluxo de gás, fazendo com que elas migrem em direção às paredes da torre. Desta forma, as gotículas impactam nas paredes da torre e caem no fundo da torre. As gotículas que permanecem sendo arrastadas no gás residual serão removidas por meio de eliminador de névoa (USEPA, 2002).

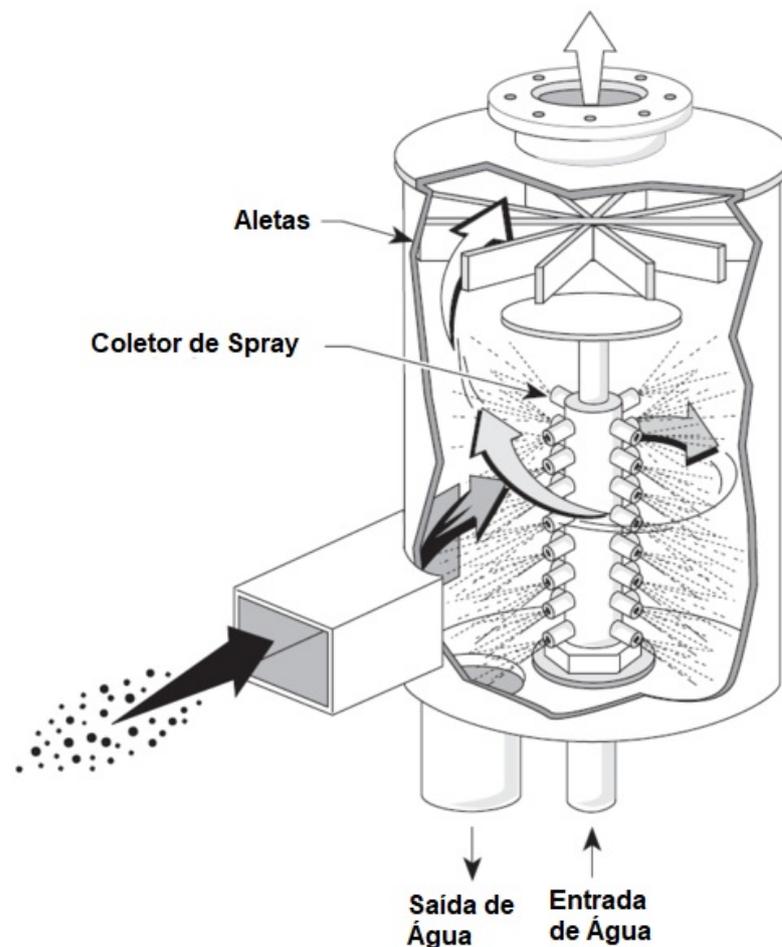
As torres de spray ciclônicas têm maior eficiência de coleta do que as torres simples. A eficiência esperada para este tipo de lavador são altas, sendo 95% para partículas maiores que 5 μm , e 60% a 75% para partículas submicrométricas (USEPA, 2002).

As aplicações típicas deste sistema são para controle de poeira em operações de trituração, fundições, fábricas de fertilizantes, entre outras (USEPA, 2002).

Os custos de investimento e os custos operação e manutenção são relativamente superiores para as torres de spray de ciclônicas devido ao seu design mais complexo (USEPA, 2002).

Uma representação esquemática da Torre de Spray Ciclônica está na Figura 6:

Figura 5 – Torre de Spray Ciclônica

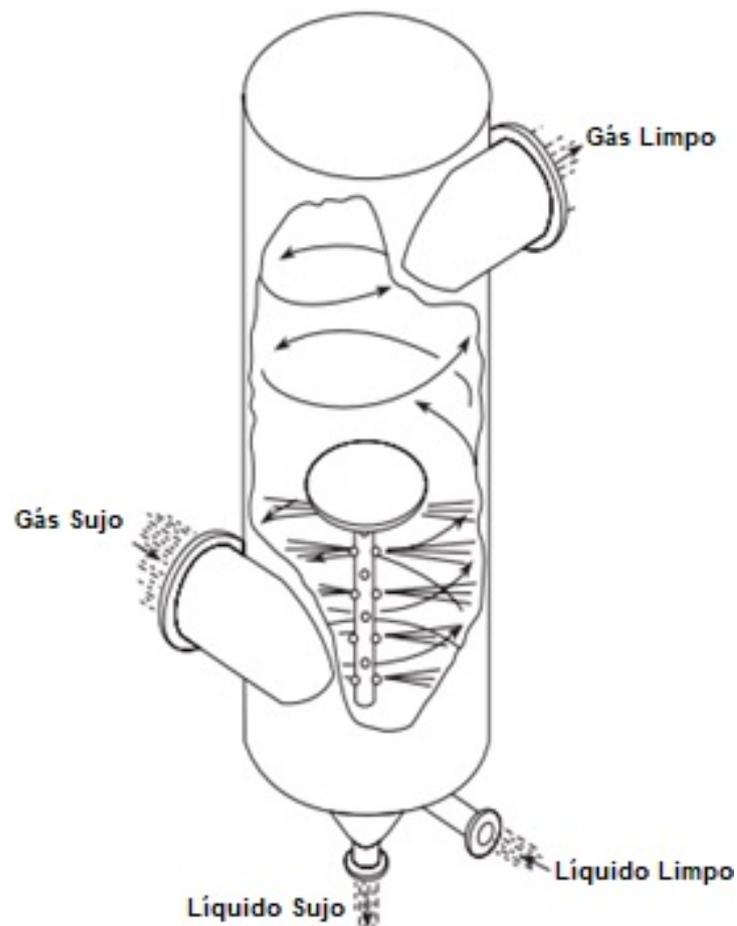


Fonte: Wikimedia Commons (2014).

- Lavador Dinâmico

Segundo a USEPA (2002), “os lavadores dinâmicos são também conhecidos como lavadores mecanicamente auxiliados ou desintegrador. Este tipo de lavadores é semelhante às torres de spray, mas com a adição de um rotor motorizado que corta o líquido de lavagem em gotículas finamente dispersas. O rotor pode ser localizado dentro da torre ou fora da torre, conectado por um duto. Um eliminador de névoa remove o líquido e o separador remove o material particulado capturado. A maioria dos sistemas de lavagem dinâmica umidifica o gás residual a montante do rotor para reduzir a evaporação e a deposição de partículas na área do rotor” (Figura 7).

Figura 6 – Lavador Dinâmico



Fonte: USEPA (2002).

“Os lavadores dinâmicos removem eficientemente o material particulado fino, porém a adição de um rotor ao lavador aumenta os custos de manutenção do sistema. Um dispositivo de pré-tratamento, como um ciclone, geralmente precede um lavador dinâmico para remover o material particulado grosseiro do fluxo de gás residual” (USEPA, 2002).

A eficiência de coleta para lavadores dinâmicos é semelhante aos lavadores de torres de spray ciclônicas. “Os custos de investimento, operação e manutenção são moderadamente maiores do que os custos para simples torres de spray devido ao rotor” (USEPA, 2002).

- Lavadores de Torres de Bandeja

“Os lavadores de torre de bandeja consistem em uma torre vertical com várias bandejas perfuradas montadas horizontalmente na torre. O gás entra na parte inferior da torre e flui para a parte superior através das aberturas nas bandejas, enquanto o líquido de lavagem flui da parte superior e passa por cada bandeja. O gás se mistura com o líquido fluindo sobre a bandeja, fornecendo mais contato gás-líquido do que nos projetos de torres de pulverização. A velocidade do gás evita que o líquido escoe pelas perfurações da bandeja. As placas são lavadas continuamente coletando as partículas que impactam nas bandejas e se agregam ao líquido que escoar” (USEPA, 2002).

“Os lavadores de torres de bandeja são projetados para fornecer acesso a cada bandeja para limpeza e manutenção. Grandes quantidades de material particulado podem entupir as perfurações, portanto, alguns projetos colocam os defletores de impacto a montante de cada perfuração para que este remova o material particulado grande antes que o gás residual entre na abertura”, conforme podemos verificar na representação esquemática na Figura 8:

Figura 7 – Lavador de torres de bandeja



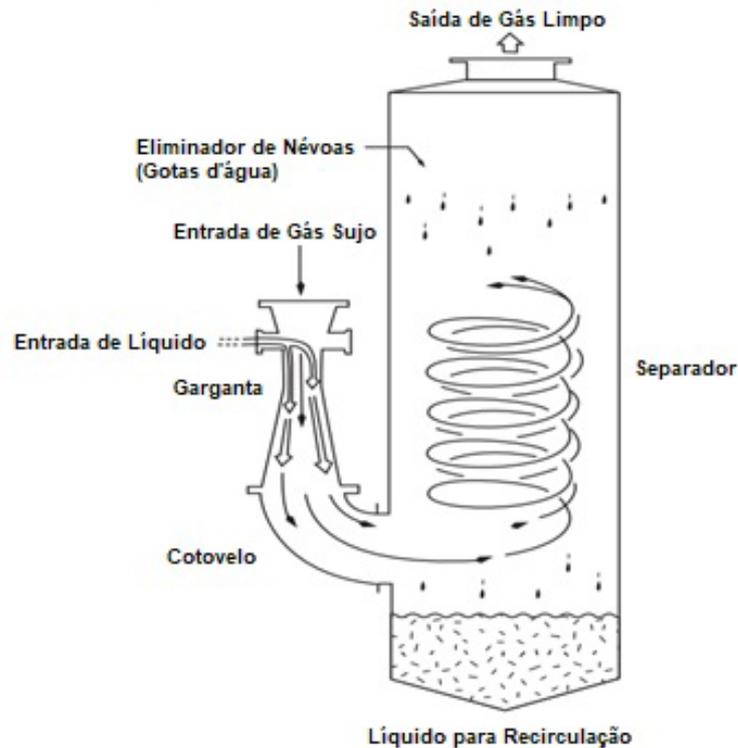
Fonte: Clube do Instalador (2014).

“Os lavadores de torres de bandeja não removem efetivamente as partículas submicrônicas, no entanto, a eficiência de coleta para partículas maiores que 5 μm podem ser de até 97%. São eficientes também na remoção efetiva de gases, sendo úteis quando os poluentes particulados e gasosos devem ser removidos” (USEPA, 2002).

“As aplicações típicas incluem fornos de cal, caldeiras de bagaço e casca e indústrias de metais secundários. Os custos de investimento, operação e manutenção são moderadamente maiores do que simples torres de spray” (USEPA, 2002).

- Lavador de Gases Venturi

O lavador de gases Venturi tem um canal de fluxo convergente-divergente. Neste tipo de sistema, a área da seção transversal do canal diminui, em seguida, aumenta ao longo do comprimento do canal. A Figura 9 apresenta um lavador Venturi. A área mais estreita é referida como garganta. Na convergência seção, a diminuição da área faz com que a velocidade do gás residual e a turbulência aumentem. O líquido é injetado no equipamento ligeiramente a montante da garganta ou diretamente na seção da garganta (USEPA, 2002).

Figura 8 – Lavador de Gases Venturi

Fonte: USEPA (2002).

Na garganta o líquido de lavagem passa a ser atomizado, devido à turbulência, fazendo com que melhore o contato gás-líquido. A mistura de gás-líquido, em seguida, desacelera enquanto se move através da seção divergente, causando impactos de gotículas de partículas e aglomeração das gotículas. Há separação das gotículas a partir do fluxo de gás em uma seção de arrastamento, geralmente consistindo em um separador ciclônico e eliminador de névoas (USEPA, 2002).

Os lavadores venturi são mais caros do que os lavadores de torre de spray de pulverização, ciclônicos ou torre de bandeja, mas eficiências de coleta para material particulado fino são mais altas. As altas velocidades de gás e turbulência na garganta do Venturi resulta em altas eficiências de coleta, variando de 70% a 99% para partículas maiores que 1 μm de diâmetro e maior que 50% para partículas submicrométricas. Aumentando a pressão, o lavador Venturi aumenta a eficiência, mas a demanda de energia do sistema também aumenta, levando a maiores custos operacionais. Em relação aos custos de investimentos, os lavadores venturi apresentam um valor superior aos custos da torre de pulverização, tanto na parte de manutenção como a própria operação do lavador de gases (USEPA, 2002).

- Lavador de Orifícios

Em um lavador de orifício, também conhecido como lavador de impacto, o fluxo de gás flui na superfície de um reservatório de líquido de lavagem. Quando o gás colide na superfície da água, ele arrasta gotas do líquido. O gás residual flui então para cima e entra em um orifício com uma abertura. O orifício induz a turbulência no fluxo que atomiza a entrada gotículas. As gotículas atomizadas capturam o material particulado no fluxo de gás. Uma série de defletores então remove as gotas, que caem no reservatório de líquidos na parte inferior do equipamento. Alguns lavadores de orifícios têm regulagem dos orifícios para controlar a velocidade do gás (USEPA, 2002).

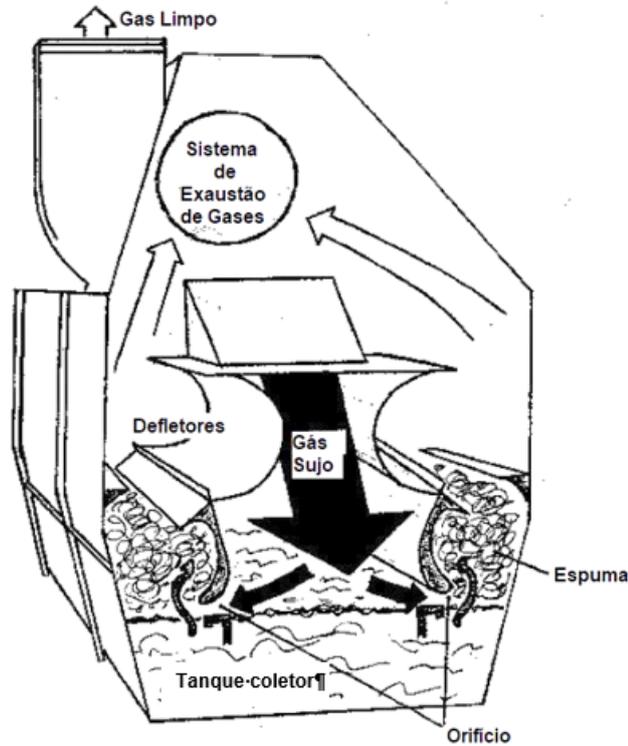
A principal vantagem deste tipo de lavador é a eliminação de uma bomba de recirculação para o líquido de lavagem, que é um grande contribuinte para os custos operacionais para a maioria dos projetos de lavadores (USEPA, 2002).

A principal desvantagem é a dificuldade de remoção de lodo residual. Na maioria dos projetos de lavadores, os resíduos são drenados na parte inferior. Os lavadores de orifícios utilizam uma poça estática de líquido de lavagem, pelo que as lamas residuais são removidas com um ejetor de lodo, que funciona como uma correia transportadora. O lodo se instala no ejetor, que o transporta para fora do lavador (USEPA, 2002).

Os lavadores de orifícios não são amplamente utilizados, mas foram aplicados em secadores, estufas, trituradores e operações de moagem, operações de pulverização (revestimento de pílula, vidros cerâmicos), ventilação (aberturas, operações de dumping) e movimentação de materiais (estações de transferência, mistura, despejo, embalagem).

Na Figura 10 temos um exemplo de um Lavador de Orifício.

Figura 9 – Lavador de Orifício



Fonte: Industrial Pollution (2020).

Este tipo de lavador pode remover material particulado acima de $2\ \mu\text{m}$ de diâmetro, com eficiências de controle que variam de 80% a 99%. Embora os lavadores de orifícios possam ser projetados como unidades de alta energia, a maioria é construída para serviço de baixa energia. No que se refere aos custos para investimento, a torre de spray simples apresenta altos custos em relação a manutenção e própria operação do equipamento (USEPA, 2002).

4.4.3 Monitoramento das Emissões Atmosféricas

Segundo a USEPA (1998), o objetivo do monitoramento de emissões “é quantificar as emissões de poluentes para verificar, entre outras coisas, se estas emissões se enquadram na legislação vigente, se um equipamento de controle está operando nas condições especificadas pelo fabricante ou ainda, estabelecer padrões de emissões”.

De acordo com a ACIJ (2004), o monitoramento das fontes de emissão é uma importante ferramenta para o gerenciamento ambiental, pois permite, dentre seus objetivos:

- a) Emitir relatórios para fins de fiscalização do órgão ambiental;
- b) Levantar informações do processo;
- c) Levantar informações dos fluxos gasosos;
- d) Dimensionar equipamentos de controle;
- e) Testar e verificar a eficiência do equipamento de controle;
- f) Testes de otimização das condições de combustão em fornos, caldeiras, entre outros;
- g) Processos de auditorias externas ou internas.

O monitoramento de emissões na fonte (chaminé, duto) deve ser embasado de forma a demonstrar o atendimento aos padrões de emissão. A Resolução CONAMA n° 382, de 26 de Dezembro de 2006 cita duas formas de monitoramento para fontes fixas: contínuo (medida direta) e descontínuo (amostragem em chaminé).

De acordo com o CONAMA (2006), o monitoramento contínuo é considerado a partir de quando a fonte passa a ser monitorada, no mínimo 67% do tempo em que há a operação por meio do monitoramento contínuo em um período de um ano.

O monitoramento descontínuo, ou amostragem em chaminé, isocinética no caso de Material Particulado é a “coleta realizada em condições tais que o fluxo de gás na entrada do equipamento de amostragem tenha a mesma velocidade que o fluxo de gás que se pretende analisar” (ABNT/1990). Segundo a CETESB (2010), “a amostragem é válida somente se o valor encontrado estiver na faixa de 90 a 110%”.

Também segundo a CETESB (2010). “entende-se por monitoramento de emissões atmosféricas a avaliação sistemática de parâmetros físicos e/ou químicos, associados direta ou indiretamente às substâncias sólidas, líquidas ou gasosas, lançadas/dispersas no ar por uma determinada atividade; tal monitoramento está

baseado em repetitivas observações ou medidas, com uma determinada frequência, de acordo com procedimentos documentados e acordados com o órgão ambiental, e realizado para proporcionar uma informação confiável”

Segundo a Resolução SMA nº 79, de 04 de Novembro de 2009, “as amostragens deverão ser realizadas, no mínimo, nas condições de plena carga ou nas condições efetivas de operação do forno, desde que devidamente justificadas pela empresa”.

Para a realização da amostragem em chaminé, deve ser elaborado o “Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas (PMEA) que precisa ser elaborado conforme as diretrizes da Decisão de Diretoria nº 10-P, de 12 de Janeiro de 2010, que dispõe sobre o Monitoramento de Emissões de Fontes Fixas de Poluição do Ar no Estado de São Paulo – Termo de Referência para a Elaboração do Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas” (PMEA).

As amostragens deverão respeitar as metodologias recomendadas pela CETESB. Alguns exemplos de metodologias recomendadas constam no Quadro 3. Segundo a “Decisão de Diretoria CETESB nº 10-P, de 12 de Janeiro de 2010, os casos especiais devem ser previamente discutidos e autorizados antes da realização de qualquer amostragem”.

Quadro 2 – Algumas metodologias recomendadas pela CETESB para amostragem em chaminé de Material Particulado

Parâmetros	Norma	Nº da Metodologia de Ensaio	Título da Metodologia de Ensaio	Revisão
Gases de Combustão (CO ₂ , O ₂ e CO)	CETESB	L9.210	"Análise dos gases de combustão através do aparelho Orsat: método de ensaio"	Out/1990
	USEPA	Método 3B:2017	"Oxygen and Carbon Dioxide Concentrations – Orsat Analyzer"	Ago/2017
Pontos de Amostragem	CETESB	L9.221	"Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação dos pontos de amostragem: procedimento"	Jul/1990
	ABNT	NBR 10701:1989	"Determinação de Pontos de Amostragem em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias"	Jul/1989
	USEPA	Método 1:2017	"Sample/Velocity Traverses"	Ago/2017
Velocidade Média e Vazão Volumétrica	CETESB	L9.222	"Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da velocidade e vazão dos gases: método de ensaio"	Mai/1992
	ABNT	NBR 11966:1989	"Determinação da Velocidade e Vazão dos Gases em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias"	Ago/1989
	USEPA	Método 2:2017	"Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate (Type S Pitot Tube)"	Ago/2017
Massa molecular seca e excesso de ar do fluxo gasoso	CETESB	L9.223	"Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da massa molecular seca e do excesso de ar do fluxo gasoso: método de ensaio"	Jun/1992
	ABNT	NBR 10702:1989	"Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da massa molecular - Base seca - Método de ensaio"	Jul/1989
	USEPA	Método 3:2017	"Gas Analysis For The Determination Of Dry Molecular Weight"	Ago/2017
Umidade dos efluentes em dutos e chaminés	CETESB	L9.224	"Dutos e chaminés estacionárias – Determinação da umidade dos efluentes: método de ensaio"	Ago/1993
	ABNT	NBR 11967:1989	"Amostragem e Determinação da Umidade dos Efluentes em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias"	Ago/1989
	USEPA	Método 4:2017	"Determination of Moisture Content in Stack Gases"	Ago/2017
Material Particulado	CETESB	L9.225	"Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de material particulado: método de ensaio"	Mar/1995
	ABNT	NBR 12019:1990	"Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação de material particulado - Método de ensaio"	Jan/1991
	USEPA	Método 5:2019	"Determination of Particulate Matter Emissions From Stationary Sources"	Jan/2019
Óxidos de nitrogênio	CETESB	L9.229	"Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de óxidos de nitrogênio: método de ensaio"	Out/1992
	ABNT	NBR 11505:1989	"Gases - Determinação do teor de dióxido de nitrogênio - Reação de Gress-Saltzman - Método de ensaio"	Dez/1989
	USEPA	Método 7:2019	"Nitrogen Oxide"	Jan/2019
Acompanha mento de amostragem	CETESB	L9.240	"Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Acompanhamento de amostragem"	Set/1995
	ABNT	NBR10700:2013	"Planejamento de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias"	Out/2013

Fonte: Elaboração própria.

4.4.4 Principais Vantagens e Desvantagens do Uso do Lavador de Gases

Os coletores úmidos compreendem uma gama de diferentes tipos de equipamentos.

“Os lavadores têm sido bem aplicados para sistemas que operam gases a alta temperatura (538°C ou 1000°F) ou até maiores e onde a umidade é considerada um obstáculo para tratar os gases. Não pode ser usado onde a recuperação do resíduo seco é uma necessidade, tendo em vista uma possível reutilização ou comercialização deste; e também onde existe a dificuldade de realizar o tratamento dos efluentes gerados” (CETESB, 1994).

Resumidamente, podemos citar as principais vantagens (CETESB, 1994):

- Absorção de gases de forma simultânea com a coleta de material particulado;
- Se aplicada a energia necessária, é possível obter alta eficiência de coleta independente da faixa de tamanho das partículas;
- Coleta de materiais considerados pegajosos sem entupimento;
- Tratamento de efluentes gasosos a altas temperaturas;
- A umidade do efluente gasoso não é um fator crítico;
- Manipulação sem perigo de gases e poeiras inflamáveis;
- Custo inicial considerado relativamente baixo;
- Podem ser aplicadas também evaporação, reação química e transferência de calor.

As principais desvantagens dos lavadores são:

- Para coleta de partículas consideradas pequenas, deverá ser aplicada alta energia para obter eficiência desejada;
- Incidência de abrasão e corrosão;
- Há geração de efluentes, devendo ser avaliado um sistema para disposição;
- Produz a descarga de uma pluma de vapor proveniente do caudal gasoso saturado de água.

4.4.5 A Importância da Operação e Manutenção dos Equipamentos de Controle de Poluição do Ar

No passado, observou-se que um grande número de equipamentos de controle da poluição do ar apresentava baixa performance em função de condições inadequadas de operação e manutenção (CETESB, 1994).

Diante disso, fica um questionamento quanto ao fato de a indústria instalar um sistema moderno e eficiente de controle de poluição do ar, se a mesma não se prepara para a sua operação, não treinar os operadores para ter ao menos o conhecimento básico para que saibam o que podem e não podem fazer. De que vale a empresa possuir esse sistema e não ter um programa de manutenção que prolongue a sua vida, diminua os períodos de parada e evite alterações nas suas condições de operação e, conseqüentemente na sua eficiência (CETESB, 1994).

Outro ponto é a adoção de um bom programa de operação e manutenção aplicado a um equipamento de controle de poluição do ar, porém com aplicação equivocada para abatimento de poluentes, por exemplo, selecionar um condensador para abatimento de odor (CETESB, 1994).

Todo programa de operação e manutenção necessita de informações práticas para a sua autoalimentação. Existem procedimentos básicos que são válidos para todos os equipamentos de controle de poluição do ar, no entanto, existem peculiaridades próprias de cada tipo de fonte e equipamentos que necessitam que o programa de operação e manutenção seja personalizado (CETESB, 1994).

Podemos listar algumas vantagens para a importância de um programa adequado de operação e manutenção (CETESB, 1994):

- Atendimento a legislação aplicável;
- Melhoria efetiva da qualidade do ar;
- Melhor imagem da empresa na região onde se encontra instalada;
- Boa convivência com a comunidade;
- Prolongamento da vida útil;

- Manutenção da produtividade da fonte servida pelo ECP, devido à redução da interrupção na produção;
- Redução do custo de operação;
- Prevenção de danos ao equipamento.

A discussão da performance do ECP pode ser dividida em duas partes. Uma é a capacidade de captar o poluente e removê-lo do fluxo gasoso, o que dependerá das condições específicas do projeto e que determinarão a eficiência do sistema. A outra é a capacidade do sistema de operar sem problemas, sem paradas e sem manutenção excessiva; podendo ser denominada de “disponibilidade operacional do sistema e frequência de reparo” (CETESB, 1994).

Um bom programa de operação e manutenção precisa envolver os seguintes aspectos (CETESB, 1994):

- Existência de pessoal treinado para operar e supervisionar a operação do sistema e que possua conhecimento sobre os princípios de funcionamento do mesmo;
- Existência de procedimento operacional padrão para partida, funcionamento normal e parada;
- Controle diário do funcionamento de todo o sistema, com o registro dos dados operacionais importantes;
- Plano de inspeções periódicas com frequência pré-determinada;
- Plano de manutenção preventiva previamente estabelecido com registro de dados e tipos de manutenções realizadas;
- Registro de todos os problemas ocorridos, suas causas e as soluções adotadas.

4.4.6 Indicadores de Desempenho

Objetivando facilitar a operação e manutenção, recomenda-se que sejam utilizados indicadores de desempenho.

Para lavadores de gases, é indicado possuir, no mínimo, um medidor de perda de carga do sistema, um medidor de vazão, um medidor de pressão de água e um medidor de temperatura (CETESB, 1994).

Estes medidores precisam ser limpos e calibrados periodicamente. A instalação deve ser feita de modo que permita a sua remoção quando não estiver em uso, diminuindo a frequência de manutenção do instrumento e aumentando a sua vida útil (CETESB, 1994).

Uma medida relativa à vazão d'água pode ser feita pela medida da velocidade em rotações por minuto (rpm) da bomba d'água. Na condição de pressão de saída constante, a vazão é diretamente proporcional à velocidade da bomba (CETESB, 1994).

Alguns lavadores de gases podem possuir tubos de Bourdon nas linhas de água, particularmente na linha de alimentação do sistema de aspersão, sendo possível verificar a pressão d'água. São recomendadas algumas medidas de verificação do manômetro, como por exemplo (CETESB, 1994):

- a) as condições gerais de uso,
- b) possível contaminação por poeira ou gases ácidos,
- c) verificação do zero, fechando o registro d'água ou ainda isolando fechando a válvula e drenando a água do seu circuito. Um manômetro contaminado por poeira geralmente indicará pressão menor que a real. O manômetro deve apresentar resultados consistentes, caso contrário, deverão ser substituídos. E quando não estiverem em uso, deverá permanecer drenado para evitar a sua deterioração.

No sistema de aspersão é importante verificar com frequência se todos os bicos estão com a pressão recomendada. Vale lembrar que a alta pressão não significa necessariamente que o bico esteja funcionando melhor que na condição de projeto, mas sim que ele pode estar entupido (CETESB, 1994).

O medidor de temperatura visa a segurança do sistema, uma vez que houver a medição de altas temperaturas, será acionada na saída do lavador uma bomba d'água sobressalente de recirculação para redução da temperatura (CETESB, 1994).

Uma equipe operacional com treinamento adequado terá capacidade de reconhecer o desempenho do ECP, através da avaliação e correlação de variáveis de funcionamento confiável, tais como (CETESB, 1994):

- Vazão do líquido de recirculação do lavador;
- Sangria de recirculação do lavador e vazão de água de reposição;
- Perda de carga do lavador;
- Pressão de saída da bomba d'água;
- Pressão estática da entrada e saída do ventilador;
- Concentração de sangria da lama e pH;
- Vibração do ventilador;
- Temperatura do gás saturado de entrada no lavador;
- Corrente do motor da bomba d'água e do lavador;
- Taxa de injeção de produtos químicos;
- Densidade do líquido no tratamento de efluentes;
- Entre outros indicadores.

Desta forma, fica evidente a importância da instrumentação do ECP para controle dos parâmetros operacionais esteja constantemente em perfeito estado de funcionamento, sendo verificados e limpos periodicamente.

4.5 PROCESSO DE FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO

4.5.1 Descrição do Processo

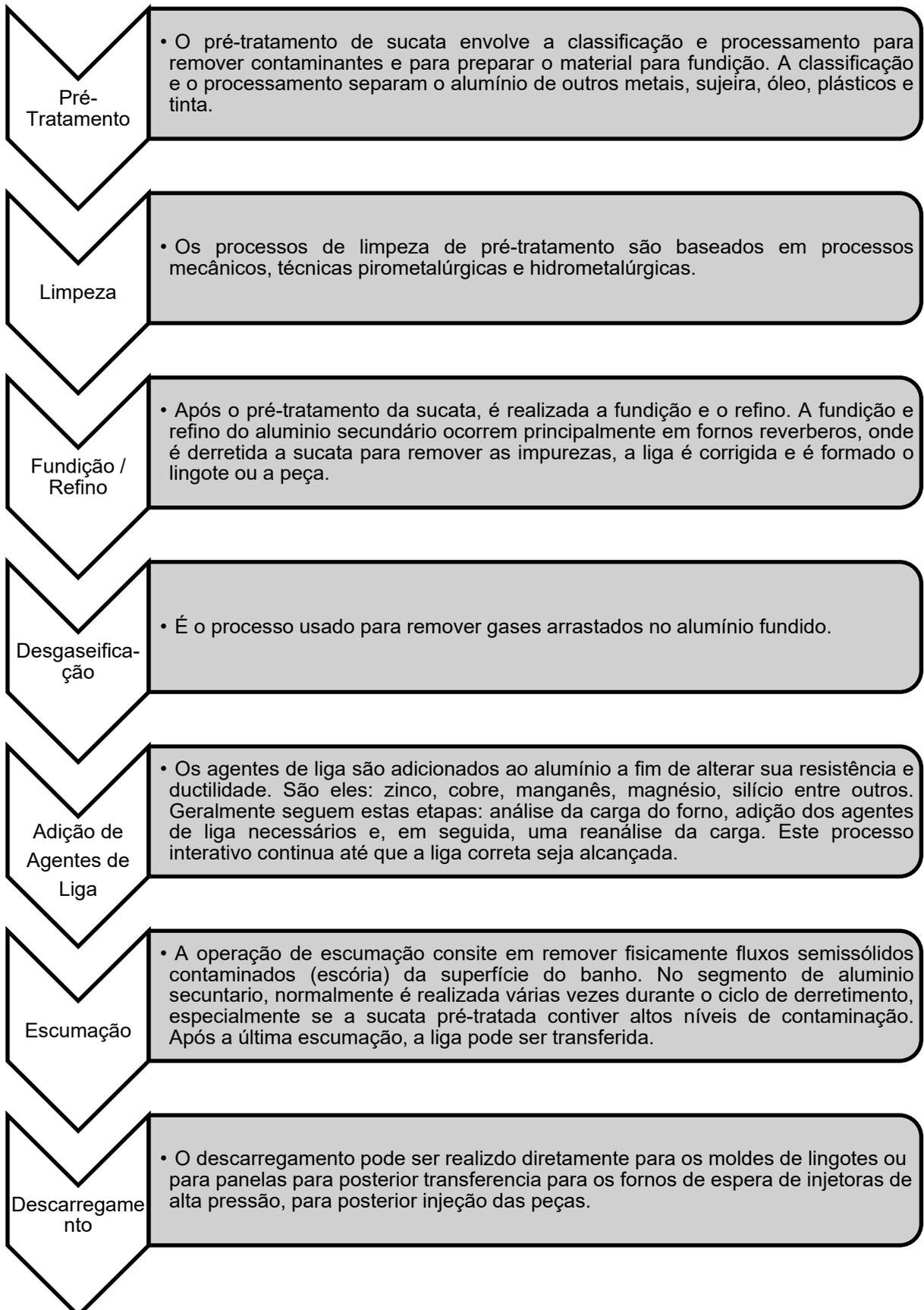
Conforme USEPA (1995) “as indústrias de alumínio secundários reciclam o alumínio da sucata que contém alumínio, enquanto as indústrias de alumínio primário convertem minério de bauxita em alumínio”.

Segundo a USEPA (1995) a reciclagem de 1 (uma) tonelada de alumínio requer apenas 5% da energia necessária para refinar 1 (uma) tonelada de alumínio primário de minério de bauxita, tornando o alumínio secundário economicamente viável.

Também há informação de que a sucata de alumínio pode ser proveniente de diversas fontes. A sucata "nova" é aquela gerada pelo pré-consumidor, como perfuração e usinagem de peças fundidas de alumínio, sucata de fabricação de alumínio e operações de fabricação. Durante as operações de fundição há a formação do material residual do alumínio (escória). Já a sucata de alumínio "velha" é aquela proveniente de um material que tem sido usado pelo consumidor e descartados. Podemos citar alguns exemplos de sucata velha que incluem: eletrodomésticos usados, folha de alumínio, automóveis, peças de avião, revestimento de alumínio e latas de bebidas.

O processo ocorre, basicamente, conforme o fluxograma que consta na Figura 4:

Figura 10 – Fluxograma do processo de fundição de alumínio secundário



Fonte: adaptado da USEPA (1995).

4.5.2 Fontes e Características das Emissões do Processo

Conforme USEPA (1995) as emissões dos fornos representam uma fração significativa do particulado total e efluente gasoso gerado na indústria do alumínio secundário. As emissões consistem em partículas orgânicas e inorgânicas, vapores orgânicos não queimados e dióxido de carbono.

Ainda segundo a USEPA (1995), as emissões dos queimadores do forno contêm monóxido de carbono, óxido sulfúrico, dióxido de carbono, e óxido de nitrogênio. Porém, em fornos, as emissões do queimador geralmente são separadas das emissões do processo. Nesta fase, ainda pode-se incluir as emissões de sais fundentes, tais como: cloreto de sódio, cloreto de potássio e criolita. O alumínio e cloreto de magnésio também podem ser gerados a partir dos materiais fundentes adicionados ao fundido.

De acordo com o banco de dados do *COV/MP* publicado pela *Speciate Database Management System* (1989), os seguintes poluentes atmosféricos perigosos (*Hazardous Air Pollutants – HAPs*) foram encontrados em emissões provenientes dos fornos: cloro e compostos de manganês, níquel, chumbo e cromo. Em adição a HAPs listados, as emissões gerais de indústrias de fundição de alumínio secundário encontradas, podemos incluir HAPs: como antimônio, cobalto, selênio, cádmio e arsênico. Porém não há na USEPA (1995) fatores de emissões específicos para esses HAPs devido à falta de informações.

Em resumo, os gases típicos de efluentes de fundição contêm produtos de combustão, cloro, cloreto de hidrogênio, cloretos metálicos de zinco, magnésio, alumínio, óxido de alumínio e vários metais e compostos metálicos, dependendo da qualidade da sucata carregada.

4.5.3 Controle das Fontes de Emissões da Fundição de Alumínio Secundário

No que se refere a emissão de poluentes atmosféricos voltados a fundição de alumínio secundário, a USEPA (1986) cita formas de controle das principais fontes de emissão, os quais estão apresentadas sucintamente no Quadro 2.

Quadro 3 – Controle das Principais Fontes de Emissão

Fonte	Características das emissões	Controle das Emissões
Limpeza mecânica	As emissões são provenientes do processo de trituração e peneiramento, com geração de material particulado metálico e não metálico.	Moinhos de bola, haste ou martelo podem ser usados para reduzir óxidos e partículas não metálicas.
Operações de queima e secagem (técnicas pirometalúrgicas)	Emitem partículas e vapores orgânicos.	Pós-combustores são usados para converter COVs não queimados em compostos menos poluentes em conjunto com lavadores úmidos ou filtros de tecido.
Limpeza hidrometalúrgica	Efluente de limpeza da sucata contaminado com materiais ferrosos.	Separador magnético para remover os materiais ferrosos.
Processo da escória quente	Emissão constituída de poeiras geradas dos fornos de escória rotativos, sendo alguns vapores produzidos a partir das reações de fluxantes.	As emissões fugitivas podem ser controladas realizando a captação e direcionamento das emissões para um filtro de tecido ou lavador de gases tipo Venturi.
Moagem a seco	Grandes quantidades de poeira são geradas a partir da britagem, moagem, peneiramento, classificação e etapas de transferência de materiais.	Não foi citado Equipamentos de Controle e Fatores de Emissão para essa operação.
Aquecimento da sucata de alumínio	Emissões de partículas resultantes da carbonização de materiais carbonosos (cinzas).	Não foi citado Equipamentos de Controle e Fatores de Emissão para essa operação.
Fornos Revérbero	Produtos de combustão, cloro, hidrogênio cloreto e cloretos metálicos de zinco, magnésio e alumínio, óxido de alumínio e vários metais e compostos metálicos.	Não foi citado Equipamentos de Controle e Fatores de Emissão para essa operação.
Processos de retirada do cloro e do fluoreto de alumínio	Cloreto de alumínio que combinado com o vapor de água forma ácido clorídrico e Fluoreto de magnésio com excesso de flúor combinado com o hidrogênio forma o fluoreto de hidrogênio.	Lavadores tipo Venturi.

Fonte: USEPA (1986).

Observa-se que nem todas as fontes têm controle de emissões definidos e os fatores de emissão não foram suficientemente caracterizados e documentados, segundo a USEPA (1986) e, portanto não foram indicados no Quadro 2.

4.6 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

No Brasil, a legislação aplicável ao controle da poluição ambiental, pode ser dividida nos âmbitos federal, estadual e municipal:

4.6.1 Federal

No âmbito Federal, “a instância regulamentadora das emissões atmosféricas é o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que por meio de suas resoluções determina os limites máximos de emissões de poluentes. No CONAMA, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) coordenam as discussões que geram os novos limites de emissão”.

“Referente aos limites das emissões industriais há a importante participação dos órgãos estaduais de meio ambiente na edição das resoluções, tendo em vista seu papel principal no licenciamento e na fiscalização destas atividades e a vasta experiência que detém da realidade de seus territórios. Além disso, participam também ativamente das discussões os representantes da indústria brasileira, dos governos municipais, estaduais e da sociedade civil, propiciando resoluções baseadas na realidade do país e com a colaboração de todos os setores” (AFFONSO, 2018).

Com o advento da Lei Federal de Crimes Ambientais nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, passou a ser considerado crime tanto o funcionamento sem as licenças ambientais bem como estar sujeito às penalidades administrativas.

No Brasil, os padrões de emissão federal para fontes fixas **novas** são estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 382, de 26 de Dezembro de 2006. Para fontes fixas **existentes**, (ou seja, as fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de Janeiro de 2007) são estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 436, de 22 de Dezembro de 2011.

No que diz respeito aos padrões nacionais de qualidade do ar, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) estabeleceu por através da Resolução CONAMA n° 03, de 28 de Junho de 1990. Esta Resolução recentemente foi revogada e substituída pela Resolução CONAMA n° 491, de 19 e Novembro de 2018.

Foi observado também que no tocante a legislação aplicável, embasado na Resolução CONAMA n° 382, de 26 de Dezembro de 2006, não está estabelecido padrão de emissão para a fonte em questão. Consta apenas valores para o segmento de fabricação de alumínio primário a partir da bauxita (minério de alumínio), ou seja, processo distinto do que a empresa objeto deste estudo prática.

Conforme a Resolução CONAMA n° 436, de 22 de dezembro de 2011, há determinação de novos limites para as fontes existentes. Sendo assim, grande parte dos segmentos industriais tiveram seus limites equalizados, ou seja, será necessária a modernização das empresas com tecnologias defasada objetivando equipara-se as fábricas com tecnologia moderna.

No Quadro 4, serão apresentadas as principais regulamentações relevantes para o controle da poluição do ar.

Quadro 4 – Principais legislações aplicáveis ao controle de poluição do ar

Legislação	Assunto
Lei Federal nº 6938, de 31 de Agosto de 1981	“Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências”.
Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989	“Criou o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. A fixação de parâmetros para a emissão de poluentes gasosos e materiais particulados (materiais sólidos pulverizados) por fontes fixas começou a ser efetuada por meio dessa Resolução, que determinou a necessidade de se estabelecer limites máximos de emissão e a adoção de padrões nacionais de qualidade do ar”.
Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990	“Dispôs sobre os padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Teve como base normas (ou recomendações) da Organização Mundial da Saúde, que levam em conta limites de concentração compatíveis com a saúde e o bem-estar humanos”.
Resolução CONAMA nº 8, de 6 de dezembro de 1990	“Estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes de poluição. Esta resolução complementou o PRONAR estabelecendo limites para a concentração de determinados poluentes no ar”.
Lei Federal nº 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998	“Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências”.
Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006	“Estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas”.
Resolução CONAMA nº 436, de 22 de dezembro de 2011	“Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 2 de janeiro de 2007”.
Resolução CONAMA nº 491, de 19 de Novembro de 2018	“Dispõe sobre padrões de qualidade do ar”.

Fonte: Elaboração própria (2021)

4.6.2 Estadual (São Paulo)

O Governo Estadual visa a elaboração de legislações específicas com o intuito de proteger o meio ambiente e reduzir ao mínimo as consequências de ações devastadoras. Essas leis ambientais definem normas e infrações, as quais estabelecem diretrizes a serem seguidas de modo a controlar, prevenir e estabelecer padrões.

Houve a publicação da Lei Estadual nº 997, em 31 de maio de 1976, regulamentada pelo Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976 e alterações, tornando-se obrigatório o licenciamento ambiental das atividades industriais. Desde então, as empresas que operarem sem o licenciamento ambiental estarão sujeitas às sanções legais, como por exemplo: advertências, multas, paralisação temporária ou definitiva da atividade.

Em 20 de Março de 1997 foi publicada a “Lei Estadual nº 9.509, que dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação”; onde em seu artigo 20 estabelece ao “poder público, no exercício de sua competência de controle, a expedição das seguintes licenças: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e a Licença de Operação (LO)”.

Posteriormente o “Decreto Estadual nº 47.400, de 04 de Dezembro de 2002, que regulamenta dispositivos da Lei Estadual nº 9.509, de 20 de Março de 1997, referentes ao licenciamento ambiental, estabelece prazos de validade para cada modalidade de licenciamento ambiental e condições para sua renovação, estabelece prazo de análise dos requerimentos e licenciamento ambiental, institui procedimento obrigatório de notificação de suspensão ou encerramento de atividade, e o recolhimento de valor referente ao preço de análise”.

No âmbito estadual, no Estado de São Paulo, os padrões de qualidade do ar foram inicialmente estabelecidos em 1976, pelo Decreto Estadual nº 8468, de 08 de Setembro de 1976.

Cabe ressaltar que no “Decreto Estadual 8468, de 08 de Setembro de 1976 e alterações, no artigo 41, para as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, deverão adotar sistemas de controle de poluição do ar baseados na Melhor Tecnologia Prática Disponível” (MTPD) para cada caso, para a qual é adotada uma eficiência mínima de 95% para abatimento dos poluentes.

“O Estado de São Paulo iniciou um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, baseando-se nas diretrizes estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), com participação de representantes de diversos setores da sociedade. Este processo culminou na publicação do Decreto Estadual nº 59.113, de 23 de Abril de 2013, estabelecendo novos padrões de qualidade do ar por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo” (CETESB, 2020).

Conforme previsto no “Decreto Estadual nº 59.113, de 23 de Abril de 2013, o Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias (PREFE), estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas”. A partir do PREFE (2014), há a delimitação de corte geográfico dos empreendimentos, onde devem ser observados os procedimentos específicos referentes às emissões atmosféricas.

Desta forma, a “Classificação da Qualidade do Ar está prevista junto a Deliberação CONSEMA nº 20, de 27 de Setembro de 2019, onde apresenta de forma sucinta a relação de Municípios e dados de monitoramentos propostas pela CETESB”. Em seu artigo único, fica descrito que “Classificação da Qualidade do Ar nas sub-regiões do Estado de São Paulo, nas seguintes categorias: maior que M1 (>M1), M1, M2, M3 e MF”.

Para que um empreendimento que se caracterize como potencial poluidor, pode ser solicitado pelo órgão ambiental o Plano de Monitoramento das Emissões Atmosféricas, onde se refere ao planejamento de uma campanha de monitoramento dos poluentes atmosféricos da empresa em que se pretende analisar. Portanto, deve ser realizado o levantamento industrial das fontes fixas para a determinação dos ensaios e o cronograma de realização das amostragens de acordo com a Decisão de Diretoria Nº 010/2010/P, de 12 de Janeiro de 2010.

No Quadro 5, estão apresentadas as principais legislações estaduais relativas ao controle de poluição do ar.

Quadro 5 – Principais legislações estaduais aplicáveis

Legislação	Assunto
Lei Estadual nº 997, de 31 de Maio de 1976	“Dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente”.
Decreto Estadual nº 8.468, de 8 de Setembro de 1976 e alterações	“Aprova o Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente”.
Decreto Estadual nº 47.397, de 4 de dezembro de 2002	“Dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente”.
Decreto Estadual nº 47400, de 04 de Dezembro de 2002	“Regulamenta dispositivos da Lei Estadual n.º 9.509, de 20 de março de 1997, referentes ao licenciamento ambiental, estabelece prazos de validade para cada modalidade de licenciamento ambiental e condições para sua renovação, estabelece prazo de análise dos requerimentos e licenciamento ambiental, institui procedimento obrigatório de notificação de suspensão ou encerramento de atividade, e o recolhimento de valor referente ao preço de análise”.
DECISÃO CETESB Nº 10-P, de 12 de Janeiro de 2010	“Dispõe sobre o Monitoramento de Emissões de Fontes Fixas de Poluição do Ar no Estado de São Paulo – Termo de Referência para a Elaboração do Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas (PMEA)”.
Decreto Estadual nº 59.113, de 23 de Abril de 2013	“Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas”.
Deliberação CONSEMA nº 20/2019, de 24 de Setembro de 2019	“Aprova a Classificação da Qualidade do Ar – Relação de Municípios e Dados de Monitoramento – proposta pela CETESB”.

Fonte: Elaboração própria (2021).

4.6.3 Municipal

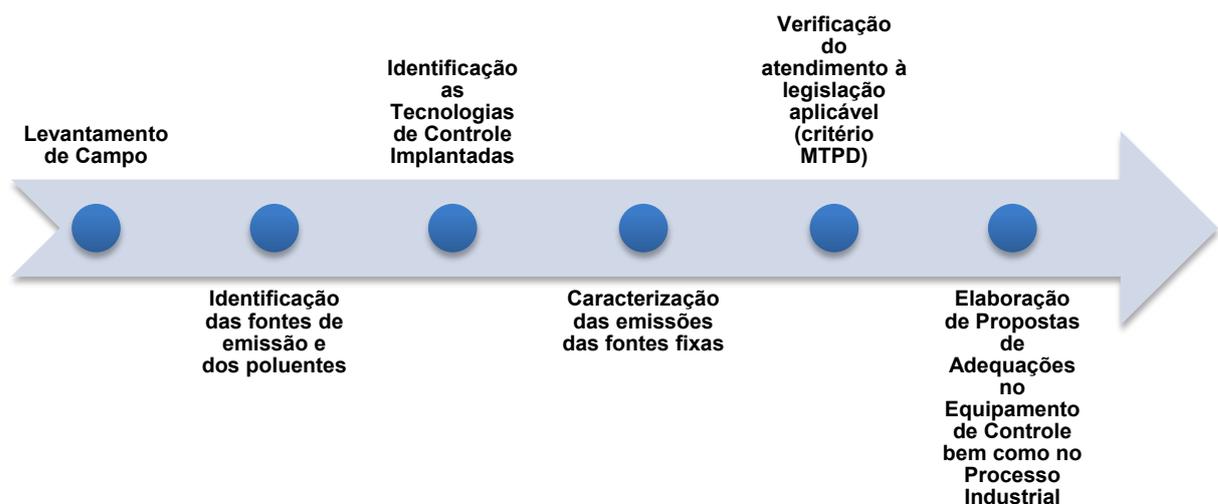
No município em questão, não há legislação específica tanto para o licenciamento ambiental de fundição de alumínio secundário como para emissões atmosféricas. Portanto, devem ser seguidas as regulamentações estaduais.

5 METODOLOGIA

É na ciência pós-moderna que se respalda este estudo, pela tentativa de compreender a natureza e a humanidade de forma outra, na qual a ciência envolve paradoxo e narrativa. Por esse viés, o pesquisador-investigador passa a ser alguém envolvido, interessado, interpretador, testando procedimentos e participando de maneira crítica da obtenção de informação (LÉVY, 2001).

Como método de pesquisa, para este trabalho foi selecionada a elaboração de um estudo de caso, desenvolvido conforme as seguintes etapas exemplificadas a seguir, na Figura 11:

Figura 11 – Etapas de execução do estudo de caso



Fonte: elaboração da autora (2019).

- **Levantamento de campo:** previamente serão realizadas buscas sistematizadas na internet sobre as etapas do processo de uma fundição de alumínio secundário, de modo a embasar a pesquisa de campo. Com estas informações, na visita técnica a ser realizada, serão obtidos dados de campo sobre as características do processo e operações (etapas de processo, produção e produtos gerados, resíduos, entre outros) que possibilitarão a descrição do mesmo.

- **Identificação das fontes de emissão e dos poluentes:** nesta etapa deverá ser verificada na planta industrial os tipos de fontes de poluição existentes e sua classificação baseada em literatura (fontes fixas, fontes evaporativas, fontes fugitivas e fontes abertas), e os poluentes emitidos por estas fontes, tais como produtos de combustão, COVs e principalmente o Material Particulado (MP), que será analisado no estudo de caso elaborado, bem como a sua significância.

- **Identificar as Tecnologias de Controle Implantadas:** será realizado nesta etapa, um levantamento das tecnologias implantadas no empreendimento, bem como a verificação da existência de dados secundários do monitoramento das tecnologias de controle existentes, relativas à eficiência comprovada por meio de amostragem em chaminé.

- **Caracterização das Emissões das Fontes Fixas:** No estudo de caso serão utilizados dados de amostragem em chaminé das emissões atmosféricas existentes da principal fonte fixa (fornos de fusão providos de Lavador de Gases).

- **Verificação do atendimento à legislação aplicável:** Serão comparados os resultados obtidos na amostragem em chaminé relativos à eficiência do equipamento com a legislação vigente (critérios de Melhor Tecnologia Prática Disponível).

- **Elaboração de Propostas de Adequações no Equipamento de Controle bem como no Processo Industrial:** Serão apresentadas análises das medidas adotadas pela empresa e proposta de adequação para melhoria da eficiência do equipamento de controle existente e para a área industrial.

6 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso visa apresentar um Plano de Melhorias para o atual Equipamento de Controle de Poluição (ECP) Atmosférica: Lavador de Gases instalado com intuito de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos em uma empresa de fundição de alumínio secundário localizada no interior do Estado de São Paulo.

A atividade industrial consiste em fundição de alumínio secundário (lingotes).

6.1 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO E SUA LOCALIZAÇÃO

A empresa em questão é do segmento de fundição de alumínio secundário situada no interior do Estado de São Paulo.

No quesito Planejamento Urbano, para uma melhor distribuição espacial das fontes potencialmente poluidoras do ar, a empresa escolheu um local afastado de núcleos residenciais e com baixa circulação de veículos.

Segundo a Deliberação CONSEMA n° 20, de 24 de Setembro de 2019, o município está localizado em área classificada como M3 para material particulado, e deve atender as exigências de controle ambiental para material particulado e outros poluentes a critério do órgão ambiental.

6.2 DESCRITIVO DO PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo se constitui das seguintes etapas:

a) Recebimento de Matéria Prima: a matéria prima alumínio é recebida em forma de lingotes e segregada conforme a liga (composição química).

Toda matéria prima recebida precisar ser acompanhada de um certificado de qualidade, onde consta a composição química conforme análise espectrofotométrica.

De posse deste certificado, o departamento de Controle de Qualidade realiza o comparativo do certificado com as especificações internas e aprova ou recusa o recebimento do material. Na Figura 12, podemos visualizar um exemplo das baias de armazenamento dos lingotes. A fim de evitar a mistura, as baias são identificadas por cores e os lingotes paletizados são identificados com uma faixa colorida feita com spray correspondente a cor da baia.

Figura 12 – Baia de Ligas de Alumínio

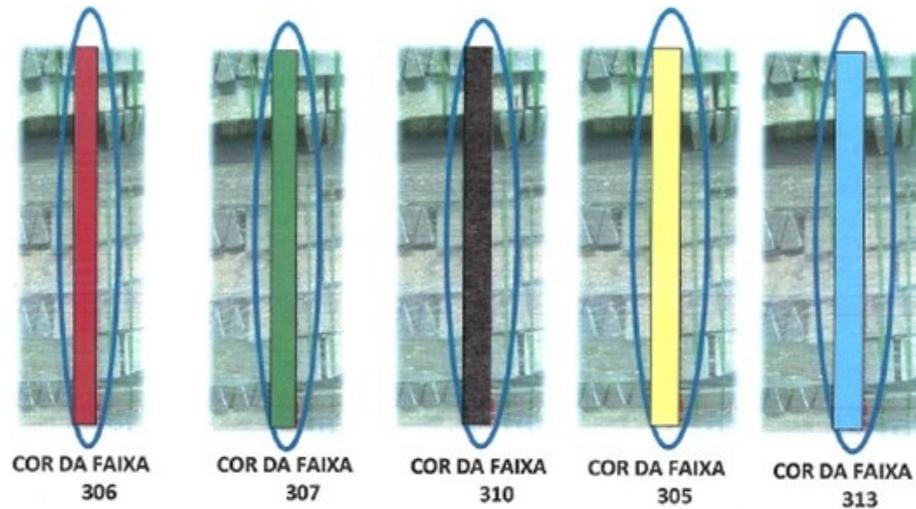


Fonte: IBRAME (2020).

Tanto o estoque de lingotes de alumínio como a sucata e retornos (canais) são armazenados em área coberta em cima de *pallets* evitando o contato com a umidade, pois o armazenamento a céu aberto pode comprometer a qualidade das peças, uma vez que o alumínio pode absorver naturalmente a umidade.

Cada etapa do processo produtivo pode ser representada por uma cor. Na Figura 13, podemos verificar as cores padrão referente a cada liga utilizada no processo produtivo.

Figura 13 – Especificação Técnica da liga com correspondência visual (cor para cada liga)



Fonte: Arquivo próprio.

- b) Fusão de Alumínio:** os lingotes de alumínio geralmente são transportados das baías até a área de abastecimento do forno por empilhadeira, onde serão acondicionados em uma caçamba no elevador de carga para realizar o abastecimento do forno de fusão, conforme podemos verificar na Figura 14.

Figura 14 – Vista lateral do elevador de caçambas do forno



Fonte: Max Fornos Industriais (2021).

- c) Transferência do Alumínio:** após ocorrer a fusão do lingote de alumínio, a liga derretida é transferida do forno basculante para uma “panela” refrataria. Os equipamentos são exemplificados nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Forno de Torre de Fusão de Alumínio



Fonte: Jung (2021).

Figura 16 – Painela de Transporte de Alumínio Líquido do Forno de Fusão para as injetoras de alta pressão



Fonte: Jung (2021).

d) Equipamento de Desgaseificação de Fundição: é um sistema automático de tratamento de metal, destinado à desgaseificação e limpeza do Alumínio e suas ligas (VESUVIUS, 2020) conforme evidenciado na Figura 8. O nome comercial do equipamento é *Foundry Degassing Unit* (FDU) que significa Unidade de Desgaseificação de Fundição conforme exemplificado na Figuras 17.

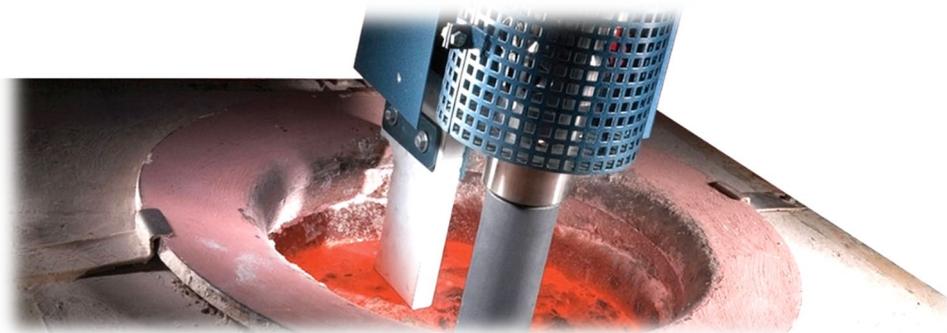
Figura 17 – Equipamento *Foundry Degassing Unit* (FDU) – Unidade de Desgaseificação de Fundição



Fonte: Vesivius (2020).

e) Operação FDU: consiste em transferir o Alumínio líquido para um sistema de desgaseificação e limpeza do Alumínio e que utiliza um eixo com um rotor de grafite junto a uma placa defletora com o objetivo de reduzir o teor de hidrogênio na liga de alumínio. O FDU cria pequenas bolhas de gás inerte e mistura-as com a liga líquida. Estas pequenas bolhas distribuem-se de forma homogênea por todo o banho, sem prejudicar a superfície do metal, o que maximiza a área de contato entre o gás inerte e a liga conforme pode-se verificar na Figura 18. O gás inerte utilizado é o Argônio ou Nitrogênio (VESIVIUS, 2020).

Figura 18 – Equipamento *Foundry Degassing Unit* (FDU) – Unidade de Desgaseificação de Fundição em funcionamento



Fonte: Vesivius (2020).

- f) **Limpeza da Borra de Alumínio:** Após a desgaseificação, deve ser realizado a aplicação do fluxo escorificante para alumínio, que é uma substância que ajuda a separar a escória de uma liga ou metal, ou seja, é por meio da utilização do fluxo escorificante para alumínio que toda a parte indesejada uma liga ou metal será retirada. Essa escoria precisa ser retirada da superfície com a escumadeira e depositada em uma caçamba de armazenamento de borra para posterior destinação (Figura 19).

Figura 19 – Limpeza da Borra de Alumínio por meio de fluxo escorificante



Fonte: Arquivo próprio.

- g) **Transporte do alumínio:** esta “panela” refrataria será transportada por empilhadeira para o forno de espera da injetora, conforme podemos verificar na Figura 20, onde ocorrerá a conformação do alumínio sob alta pressão.

Figura 20 – Empilhadeira realizando o transporte da “panela” refrataria



Fonte: DJ Fornos Industriais (2021).

- h) **Abastecimento do Forno de Espera das Injetoras:** cada injetora, precisa ter acoplado um forno de espera, para onde será transferido o alumínio líquido para ser injetado. Na Figura 21, pode-se visualizar um exemplo de transferência do alumínio líquido da panela refratária para o forno de espera da injetora. O nível de abastecimento é indicado pelo peso no painel.

Figura 21 – Transferência do alumínio líquido da “panela” refratária para o forno de espera da injetora



Fonte: DJ Fornos Industriais (2021).

- i) **Ligas especiais:** são deterridas e armazenadas no forno barril basculante, que pode-se verificar na Figura 22.

Figura 22 – Forno barril basculante



Fonte: DJ Fornos Industriais (2021).

- j) **Limpeza da borra dos fornos:** conforme necessidade, será necessário passar por processo de limpeza para realizar a remoção da borra de alumínio. Este “resíduo” deve ser armazenado em uma caçamba, conforme Figura 23, para que seja resfriada e posteriormente destinada sob Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental (CADRI) como resíduo Classe I para reciclagem do alumínio metálico.

Figura 23 – Borra de alumínio



Fonte: DJ Fornos Industriais (2021).

- k) **Injeção em Alta Pressão:** o processo de fundição em alta pressão consiste em injetar o metal líquido (liga de alumínio) contido no forno de espera para o interior da cavidade de um molde fabricado em aço por meio de um pistão, submetendo o metal a altas pressões.

Por motivo de segurança, a injeção é realizada com as portas da injetora fechadas, de forma enclausurada. Após o preenchimento rápido da cavidade do molde com o alumínio líquido, é iniciado um processo de resfriamento para que o alumínio solidifique e ocorra a conformação da peça, e então possa ser extraída do molde para permitir uma nova injeção. Para auxiliar a remoção da peça conformada do molde e evitar um possível empenamento ou deformação, há um sistema de aplicação de desmoldante integrado à injetora. Essa operação pode ocorrer tanto de forma manual como de forma automática, entre uma injeção e outra, sendo realizada no molde quente.

Durante a aplicação do desmoldante no molde quente há percepção de uma névoa, que sofre difusão para a parte superior do galpão, sendo lançada na atmosfera pelo sistema de ventilação local exaustora. Não há geração de odor perceptível fora dos limites do empreendimento e não há histórico de reclamação da população do entorno da empresa. As injetoras não possuem chaminé e não estão interligadas ao Lavador de Gases, ou seja, sem sistema de controle de emissões atmosféricas. Abaixo, na Figura 24, podemos visualizar uma Injetora de Alumínio Líquido em Alta Pressão.

Figura 24 – Injetora de alumínio líquido em alta pressão



Fonte: Solo Stocks (2018).

- I) **Interior da Injetora:** na Figuras 25, podemos visualizar um molde da injetora e na Figura 26 uma peça injetada em alumínio.

Figura 25 – Molde de tampa de válvula



Fonte: Abis Tooling & Molding (2021).

Figura 26 – Peça injetada



Fonte: Abis Tooling & Molding (2021).

m) Outros processos: Após esta etapa, a peça pode ser submetida à processos tais como: jateamento, usinagem, ensaios destrutivos e não destrutivos, acabamento, entre outros processos; visando garantir o atendimento as Normas ISO, que é considerado o padrão de excelência mundial no Sistemas de Gestão da Qualidade.

Pode-se considerar que a principal fonte de emissão atmosférica no processo industrial do segmento em análise são os fornos de fusão do alumínio secundário (em lingotes).

Para realizar a redução de emissão atmosférica foi instalado de um lavador de gases.

6.2.1 Sistema de Ventilação Local Diluidora Fabril

A empresa dispõe de um Sistema de Ventilação Local Diluidora que visa controlar a pureza do ar para proporcionar segurança e bem-estar físico aos colaboradores. Esse sistema serve também para conforto térmico e atuar na diluição das emissões que ocorrem no processo produtivo dentro do galpão.

Baseia-se em capturar o contaminante no seu ponto de origem: injetoras, antes que este atinja a zona respiratória do trabalhador. O contaminante capturado é levado por dutos ao exterior conforme podemos visualizar na Figura 27.

Figura 27 – Vista do Telhado



Fonte: Sky Lights do Brasil (2021).

6.2.2 Fontes Emissões Atmosféricas do Empreendimento

As fontes de emissão identificadas no empreendimento, estão apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Fontes de emissão do empreendimento

Fontes	Características	Poluentes
Evaporativas	Tanque de GLP Tanque de Diesel (emergência)	COVs
Fugitivas	Bombas Compressores Resfriamento da Borra de Alumínio Danos na tubulação Falta de manutenção Pontos de transferência e movimentação de materiais Torre de Refrigeração com Água de Reuso	COVs e Material Particulado
Abertas	Separadores de água e óleo Estação elevatória	COVs
Fixas	Fornos de Fusão de Alumínio Secundário Injetoras de Alumínio em Alta Pressão	Produtos de combustão, Voláteis e Material Particulado

Fonte: elaboração própria.

As principais emissões atmosféricas da empresa utilizada como estudo de caso, são provenientes de fontes fixas, que são elas: os fornos de fusão de alumínio secundário e as injetoras de alumínio em alta pressão. Os fornos estão interligados ao Lavador de Gases e as Injetoras não possuem controle das emissões.

Os parâmetros monitorados, conforme exigência da CETESB são: Material Particulado (MP) e Óxidos de Nitrogênio (NO_x).

6.2.3 Descrição e Funcionamento do Sistema de Lavagem De Gases

Os gases provenientes da fonte poluente (forno de fusão de alumínio secundário) são captados através de coifa única que direciona os gases por meio de dutos aéreos de aço carbono para o lavador de gases com o auxílio de um exaustor, sendo o efluente gasoso lançado por chaminé.

O lavador de gases possui um módulo de entrada centrífugo e duas zonas de lavagem com pré-resfriamento e pré-lavagem dos gases.

Conforme o manual de instruções do fabricante, o Lavador de Gases foi projetado “para utilizar a energia a partir do fluxo de entrada de gás para atomizar o líquido a ser usado para absorver e abater os poluentes (material particulado)”.

Os atomizadores do módulo de entrada e primeira zona de lavagem nebulizam o fluido neutralizante (água) em pequenas gotículas, operando com velocidades maiores. O movimento circular horizontal causado pela rotação do exaustor, o movimento cruzado vertical de ascendência dos gases e queda das gotículas do fluido neutralizante, promove um excelente fator de mistura, levitação das gotículas e um bombardeamento intenso efluentes gasosos pelo fluido neutralizante.

Este modelo de lavador de gases foi fabricado para, se houver necessidade, acrescentar novos módulos, pois possui flanges padronizadas que permite a substituição ou acréscimo das mesmas, caso haja a necessidade de aumento da eficiência de lavagem.

A água de lavagem, quando necessário, deve ser substituída. Durante a lavagem, ela é continuamente bombeada para um leito de carvão ativado, que é um equipamento que visa reter o poluente abatido em sua elevada área de contato. Essa tecnologia foi escolhida devido ao baixo custo (em relação a outros equipamentos) e simplicidade.

O material particulado sedimentado no fundo do tanque poderá ser facilmente removido periodicamente, sem a necessidade de drenar todo o conteúdo do tanque.

O controle de decantação e descarga é realizado manualmente pelo acionamento de uma válvula instalada no fundo do tanque de sedimentação e coletado por meio de um elemento filtrante.

Após a coleta, o material sedimentado é direcionado para um leito de secagem na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais para posterior destinação sob CADRI para empresa licenciada para ser coprocessado.

6.2.4 Características Técnicas do Lavador de Gases Estudado

6.2.4.1 Características Nominais do Lavador de Gases

A Quadro 7 apresenta as características nominais do lavador de gases, conforme o manual de instruções do fabricante.

Quadro 7 – Características do projeto do Lavador de Gases

Parâmetro		Unidade	Valor
Tipo		-	Dupla Atomização de Partículas
Quantidade		un.	1
Altura da coluna		m	6
Diâmetro interno		m	2,14
Material		-	PRFV
Solvente		-	Água
Gás a ser tratado		-	Efluente Gasoso da Fundição de Alumínio Secundário
Tipo de recheio		-	-
Altura do leito		m	6
Relação líquido-gás		L/G (L/m ³)	2,2
Perda de carga		mmCA	40 ± 5
Temperatura dos gases		°C	200
Umidade		%	5,1
Bombas	Quantidade	un.	3
	Tipo	-	Centrifuga
	Vazão	m ³ /h	300
Exaustor		m ³ /h	100.000
Vazão dos gases		m ³ /h	100.000
Demister		-	Sim
Velocidade dos gases		m/s	7,0 ± 3,0
Altura da chaminé		m	2
Diâmetro da chaminé		m	0,7
Eficiência (declarada)		%(massa)	95

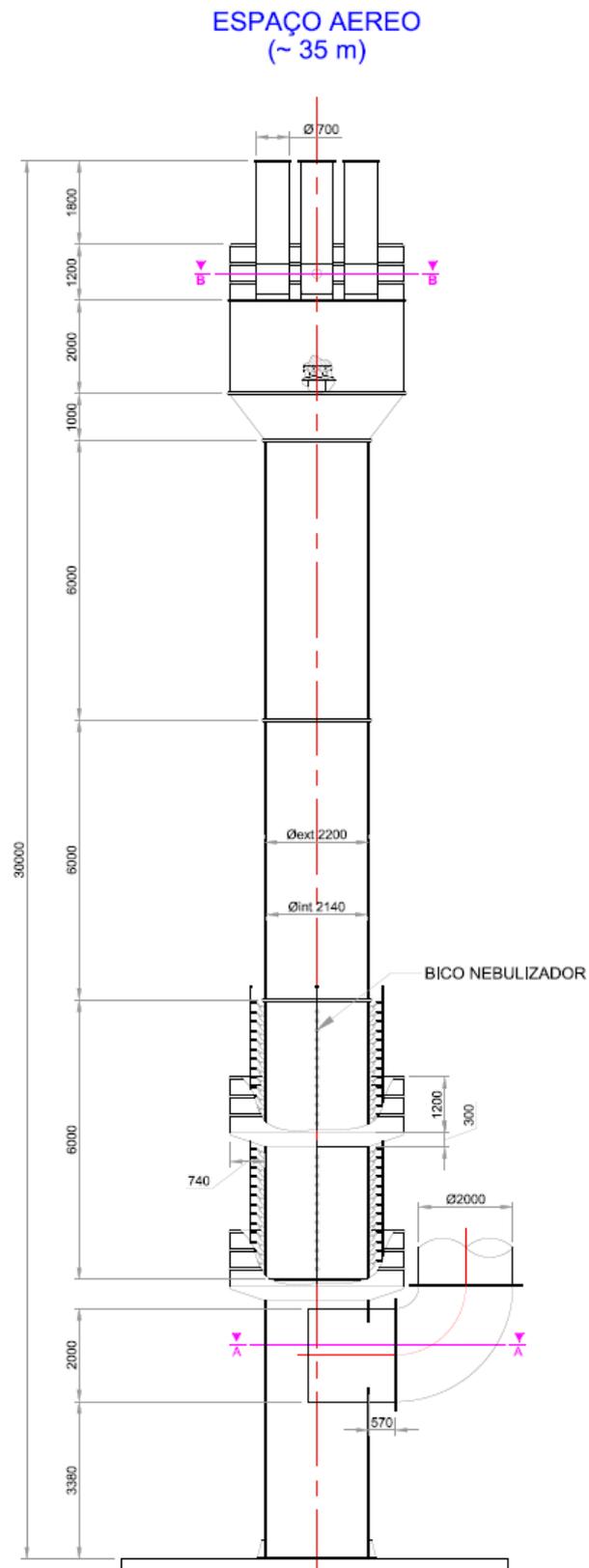
Fonte: Elaboração própria.

Os módulos do lavador de gases são confeccionados com materiais de alta resistência química e à corrosão, compostos basicamente por Plástico Reforçado por Fibra de Vidro (PRFV) revestidos internamente com véu sintético impregnado com resina Ester-Vinílica.

6.2.4.2 Croqui do Equipamento

Conforme características operacionais do projeto de concepção, a Figura 28 apresenta um croqui do Lavador de Gases.

Figura 28 – Croqui do Lavador de Gases



Fonte: Kalte-Tec (2013).

6.3 RESULTADOS

Como resultado deste trabalho, foram obtidos dados da etapa do processo industrial, dos produtos, dos resíduos gerados e formas de destinação. Além disso, foram identificadas as fontes de poluição do ar, os principais poluentes e as tecnologias de controle implantadas para abatimento das emissões. Foi identificado que houve a amostragem em chaminé para determinação da eficiência, cujos resultados estão apresentados no item 6.3.1 para verificação do atendimento da legislação aplicável, que serão discutidos a seguir. Com base neste resultado, também foram realizadas as propostas de melhorias tanto do equipamento quanto do processo produtivo e operações em geral.

6.3.1 Resultados Obtidos no Monitoramento de Emissões Atmosféricas

A seguir, serão apresentados no Tabela 1, os principais resultados obtidos no monitoramento de emissões atmosféricas realizado na empresa objeto do estudo de caso.

Tabela 1 – Principais resultados da amostragem em chaminé de Material Particulado do Lavador de Gases

Parâmetro	Unidades	Média do Resultado	
Taxa de Emissão	Kg/h	Entrada	0,555
		Saída	0,331
Velocidade de saída dos gases	m/s	5,3	
Vazão dos gases nas Condições da Chaminé	m³/h	38.361	
Temperatura	°C	107	
Eficiência	%	40,36	

Fonte: Elaboração própria.

Os parâmetros analisados, foram Material Particulado e Óxidos de Nitrogênio, sendo apresentado apenas os resultados para o parâmetro Material Particulado, que é o poluente alvo do estudo de caso.

Durante a amostragem, os fornos permaneceram sendo alimentados de forma contínua e em plena carga, na temperatura de trabalho: de 720°C a 800°C, com consumo de gás natural em torno de 375 m³/h.

A produção do forno durante a amostragem foi de 5,5 toneladas/hora.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Abaixo, de forma compilada, temos a Tabela 2, onde constam as informações comparativas entre o projeto e os dados de automonitoramento que serão discutidos especificamente a seguir.

Tabela 2 – Comparativo entre o projeto e os dados de automonitoramento

Parâmetros	Projeto	Amostragem
Velocidade dos Gases	7,0 ± 3,0 m/s	5,3 m/s
Vazão dos Gases	134.162 m ³ /h	38.361 m ³ /h
Temperatura dos Gases	Máximo 200°C	107°C
Eficiência	95%	40,36%

Fonte: Elaboração própria.

Conforme os dados de projeto apresentados no Quadro 6, podemos realizar uma comparação entre os parâmetros e a eficiência de projeto com os encontrados no monitoramento ocorrido, que gerou dados reais sobre o sistema implantado.

A velocidade dos gases no projeto seria de 7,0 ± 3,0 m/s e a velocidade encontrada na amostragem foi de 5,3 m/s. Embora esteja dentro da faixa esperada no manual, ela ficou mais próxima do menor valor dessa faixa, o que aponta que a vazão dos gases pode ser menor do que a de projeto. Baixas velocidades dos gases também podem acarretar depósito de material particulado em dutos, fazendo com que menos partículas estejam presentes no fluxo de entrada do equipamento, o que compromete também a eficiência.

O projeto prevê uma vazão de líquido na faixa entre 240 a 300 m³/h, que foi mantida durante a amostragem em chaminé. Para o efluente gasoso está prevista uma vazão de 100.000 Nm³/h, equivalente a 134.162 m³/h nas condições da chaminé. Durante a amostragem foi medida uma vazão de efluente gasoso nas condições da chaminé de 38.361 m³/h. Foi verificado que a vazão medida era menor do que a de projeto, o que pode comprometer a eficiência de abatimento do equipamento, indicando problemas com o sistema de captação, principalmente com o exaustor, que deveria trabalhar na vazão indicada no projeto. Além disso, deve sofrer manutenção periódica para manter

a sua integridade física (evitando danos nas pás) e também os parâmetros de performance, como rotação adequada.

Em relação a temperatura, o equipamento está projetado para gases de até 200°C. Na amostragem em chaminé foi medida a temperatura de 107°C, demonstrando que os bicos aspersores estão umedecendo suficientemente os gases e proporcionando a redução de temperatura.

No Quadro 6, consta a eficiência declarada de 95% para Material Particulado. Porém na Tabela 1, verificou-se eficiência de 40,36%, calculada conforme os dados de amostragem em chaminé.

Desta forma, o equipamento necessita de adequações para atender a eficiência declarada no projeto e também o que está disposto no artigo 41 do “Decreto Estadual 8468, de 08 de Setembro de 1976 e alterações, onde: as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD) para cada caso”, para a qual é adotada uma eficiência mínima de 95% para abatimento dos poluentes.

A relação líquido-gás é a relação entre a taxa de fluxo do líquido de lavagem e a taxa de fluxo da corrente de gás. Para fins de dimensionamento e para avaliação do funcionamento de um lavador de gases, é importante saber quanto de líquido é necessário, o que influencia na emissão residual. A unidade pode ser em m³ de líquido por m³ de gás ou Litro de líquido por m³ de gás, dependendo da referência. A relação líquido-gás é aplicada apenas para determinar a emissão residual requerida, mas também para determinar parcialmente a concentração da substância a ser removida no fluxo de gás e nos fluxos de líquido entrando e saindo.

A relação líquido-gás está calculada na Tabela 2. Conforme projeto, a relação líquido-gás é de 2,2 L/m³, que é considerada alta. Porém, conforme cálculo a partir dos dados obtidos na amostragem em chaminé, a relação líquido-gás encontrada é de 7,8 L/m³, que também é muito alta e divergente da esperada em projeto e que podem comprometer a eficiência do equipamento.

Tabela 3 – Cálculo da relação líquido-gás

Dados	Vazão de Líquido (L/h)	Vazão de Gás (m³/h)	Relação Líquido-Gás Calculada (L/m³)	Relação Líquido-Gás Referencia (L/m³)
Projeto	300.000	134.162	2,2	Câmara de spray – R/L 0,65 a 1,3
Amostragem de Chaminé	300.000	38.361	7,8	

Fonte: CETESB (1994).

Observou-se que o tratamento do líquido do lavador de gases para recirculação não é adequado, pois o líquido de lavagem passava em um leito de carvão ativado, recirculando com material em suspensão. É um fator importante, que contribui para a eficiência abaixo da esperada em projeto.

Referente a fonte não controlada, que são as injetoras de alumínio em alta pressão, na USEPA não há recomendação para controle destas fontes, porém conforme legislação vigente, se a mesma causar incômodo ao entorno é necessário realizar o controle por meio da implantação de equipamento de controle de poluição do ar baseado em Melhor Tecnologia Prática Disponível.

O fator de emissão calculado para a empresa conforme os dados de amostragem de chaminé e de operação durante o monitoramento realizado está apresentado na Tabela 4, onde também constam os fatores de emissão para os diferentes fornos utilizados nesse processo (USEPA, Capítulo 12-8).

Tabela 4 – Comparativo entre o Fator de Emissão da empresa e Referências (USEPA)

Fonte	Quantidade de Metal Processado (T/h)	Quantidade de Material Particulado Emitido (Kg/h)	Fator de Emissão sem Controle (Kg MP/T de Metal Processado)*
Forno Cadinho (<i>Crucible furnace</i>)	-	-	0,95
Forno Reverbero (<i>Reverberatory</i>)	-	-	2,15
2 Fornos Reverbero + 1 Forno Cadinho	5,5	0,555	0,10**

Fonte: Elaboração própria.

*Referência Capítulo 12-8 da USEPA

**Fator de Emissão calculado

Se for aplicada a eficiência de 40% no fator de emissão encontrado, teremos como resultado 0,06 Kg/T, o que representa um residual muito baixo e de difícil controle para este tipo de tecnologia implantada (lavador de gases).

Os fatores de emissão da USEPA apresentados na Tabela 4 são para fornos diferentes e tem valor superior ao encontrado para o fator de emissão calculado para as emissões da empresa, referentes as contribuições de 3 fornos (2 Fornos Reverbero e 1 Forno Cadinho). Ressalta-se que para os fornos que são referência da USEPA não foi encontrado qual o combustível utilizado, que provavelmente é óleo combustível devido aos altos valores de fator de emissão apresentados.

Foi observado que para os fornos da empresa, o combustível utilizado é o gás natural e a empresa trabalha com a refusão de lingotes; o que justifica a baixa carga de material particulado gerada no processo mesmo com os 3 fornos em funcionamento simultâneo durante as coletas, o que pode dificultar o abatimento do material particulado pelo equipamento de controle devido a sua baixa concentração no efluente gasoso.

A emissão de material particulado em função da granulometria foi calculada para a empresa conforme os dados de operação durante o monitoramento realizado e esta apresentada nas Tabelas 5a, 5b e 5c, onde também constam a comparação com a emissão de material particulado em função das diferentes granulometrias constante na referência USEPA, Capítulo 12-8.

Tabela 5a – Determinação da Distribuição das partículas com base na referência USEPA, Capítulo 12-8

Diâmetro da Partícula (µm)	Distribuição das Partículas (%)	Distribuição Acumulada das Partículas (%)*
2,5	50	50,0
6,0	3,4	53,4
10,0	6,6	60,0

Fonte: Elaboração própria.

*Referência Capítulo 12-8 da USEPA

Tabela 6b – Cálculo da emissão de Material Particulado da empresa em função da Granulometria

Diâmetro da Partícula (µm)	Taxa de Emissão do Processo (Kg/h)	Distribuição das Partículas (%)*	Emissão de Material Particulado em função da Granulometria (Kg/h)
2,5	0,331	50,0	0,1655
6,0	0,331	3,4	0,0113
10,0	0,331	6,6	0,0218

Fonte: Elaboração própria.

*Referência Capítulo 12-8 da USEPA

Tabela 7c – Comparação do Fator de Emissão da empresa em função da granulometria da empresa com a referência USEPA, Capítulo 12-8

Diâmetro da Partícula (µm)	Emissão de Material Particulado em função da Granulometria (Kg/h)	Quantidade de Alumínio Processada (T/h)	Taxa de Emissão em função da Granulometria Calculada	Taxa de Emissão em função da Granulometria (Capítulo 12-8 da USEPA)
2,5	0,1655	5,5	0,0301	1,08
6,0	0,0113	5,5	0,0205	1,15
10,0	0,0218	5,5	0,0040	1,30

Fonte: Elaboração própria.

Foi observado que na distribuição cumulativa (USEPA, Capítulo 12-8) que 60% das partículas estão abaixo de 10µm, que representam partículas finas. Porém, essa referência é aplicável somente para fornos reverberos que funcionam provavelmente à óleo combustível. Como a granulometria apresentada é muito baixa, possivelmente dificultaria o abatimento com o Lavador de Gases o qual não foi encontrado nessa referência (Capítulo 12-8 da USEPA), onde foram encontrados como equipamentos de controle para este processo: filtros de manga e precipitador eletrostático.

Por falta de outros fatores de emissão em função da granulometria para fazer um comparativo com os valores encontrados para a empresa que utiliza 2 fornos reverberos e 1 forno cadinho (todos à gás natural), foram utilizados estes mesmos fatores de emissão. Desta forma, foi observado que os valores encontrados para a empresa foram muito menores que o da referência utilizada.

Portanto, para a empresa em análise, recomenda-se desenvolver os estudos para aprimorar a MTPD no empreendimento (processo e equipamento de controle de poluição do ar), que é o foco desse trabalho. No entanto, caso a eficiência não melhore em função das melhorias propostas, caberá a mudança de tecnologia.

Também, comparando as fontes de emissão do empreendimento (que é objeto deste estudo de caso) que constam no Quadro 7 com as fontes que constam no Quadro 2, observa-se que no empreendimento não há todas as operações, fonte e poluentes citadas pela USEPA, sendo usado nesse caso apenas como referência.

8 PROPOSTA DE PLANO DE MELHORIAS DE CONTROLE DAS EMISSÕES

8.1 MELHORIAS PROPOSTAS PARA O SISTEMA DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR

Para o Lavador de Gases, podem ser realizadas as seguintes ações que visam o aumento da eficiência de remoção do Material Particulado e otimização dos recursos.

- Realizar a captação e tratamento dos gases de exaustão dos fornos, com a utilização de uma coifa dedicada para cada forno, de forma a captar todos os gases de exaustão durante todo o ciclo de produção, pois a empresa tem uma coifa única para captação destes gases.

- Estabelecer e cumprir um Plano de Manutenção Preventiva sistemático e periódico para as tubulações de transporte das emissões atmosféricas, pois foi verificado que a empresa não possui este tipo de procedimento.

- Realizar a manutenção preventiva dos componentes do sistema, conforme frequência definida pelo fabricante para os itens estipulados no manual de instruções do ECP-Ar (Equipamento de Controle de Poluição do ar), pois foi observado que não existe esse procedimento para esses componentes:

- Bombas de recirculação;
- Exaustores;
- Bicos atomizadores;
- Válvula de retenção;
- Controles de nível;
- Boia de nível;

Além de promover as seguintes ações:

- Limpeza do retentor de gotas do lavador de gases;
- Substituição do carvão ativado do tratamento do efluente líquido da água de reuso
- Teste do equipamento.

- Realizar periodicamente a manutenção dos motores para verificar o funcionamento dos mesmos dentro das especificações e recomendações do fabricante. Caso seja detectada a necessidade de manutenção preventiva e/ou corretiva, recomenda-se que os motores sejam encaminhados para um prestador de serviços especializados para realizar a devida manutenção; pois a empresa não adota essa sistemática.

- Instalar medidor de pressão na tubulação que alimenta os bicos pulverizadores a fim de verificar a pressão nestes dispositivos para identificar a necessidade de realizar a limpeza dos bicos, pois foi observado que não é possível identificar o entupimento dos bicos que compromete a eficiência de controle.

- Instalar um dispositivo como indicador de desempenho no lavador de gases, como por exemplo, indicador de perda de carga entre entrada e saída do lavador junto com a pressão da bomba.

- Instalar defletores ou chicanas na garganta entre a seção divergente e convergente do lavador, objetivando regular a vazão do efluente gasoso e otimizar a vazão do efluente líquido de modo a promover o abatimento eficiente das partículas presentes no gás a ser tratado, de acordo com os resultados obtidos na relação líquido-gás calculada.

- Recomenda-se a revisão e/ou adequação do ventilador utilizado de modo a atender os parâmetros de projeto, que também deverão ser otimizados.

- Com a finalidade de reduzir o consumo de água da planta, recomenda-se que para a utilização de água de reuso no lavador de gases, nas injetoras de alumínio de alta pressão e torre de resfriamento, propõe-se que seja utilizada a água da lagoa de polimento do sistema de tratamento de efluentes líquidos existente, desde que haja controle das partículas em suspensão a fim de evitar incrustações nesses equipamentos e prever dosagem de biocida, como forma de evitar a formação e proliferação de microrganismos.

- Como medida técnica adicional para melhoria das condições de dispersão dos poluentes residuais na atmosfera, propõe-se o aumento da altura de lançamento por chaminé, desde que não haja prejuízo em edificações ou atividades do entorno e também evitar reclamação da comunidade vizinha, após terem se esgotado todas as alternativas tecnológicas para controle de emissões.

8.2 MELHORIAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO EM RELAÇÃO ÀS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Conforme Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível (2017) da CETESB, considera-se também “como MTPD não só equipamentos de controle de emissões, mas também alterações no processo que proporcione mitigação das emissões atmosféricas de poluentes e diminuição do consumo de combustíveis (eficiência energética)”.

Diante disto, podem ser realizadas as seguintes ações para a minimização dos impactos atmosféricos.

- **Melhoria no Armazenamento da Matéria-Prima:** tanto o alumínio estocado em forma de lingotes quanto dos retornos (canais) são armazenados em área coberta e de forma paletizada, a fim de evitar o contato com o chão. Esse contato pode comprometer a qualidade do alumínio fundido, uma vez que o alumínio em contato com o chão pode absorver a umidade, ocasionando problemas de qualidade e aumento de emissões atmosféricas devido a retenção de umidade.

Embora a empresa do estudo de caso já realize o armazenamento desta forma, recomenda-se que as empresas que não fazem este tipo de armazenamento, adotar esta medida.

- **Redução das Emissões no Processo de Fusão de Alumínio:** foi observado que o alumínio recuperado pela empresa, objeto deste estudo de caso, na forma de briquete não é mais utilizado nos fornos de fusão. Isso é recomendável, pois reduz de forma significativa da emissão de poluentes atmosféricos e principalmente a fumaça preta na saída do Lavador de Gases.

- **Redução de Consumo de Energia Elétrica:** foi observado que a empresa utilizava fornos elétricos com alto consumo de energia. Desta forma, a empresa substituiu os fornos de gás natural, que dentro dos combustíveis, é um dos menos poluentes.

- **Controle de Consumo de Combustível dos Fornos:** embora seja recomendado que cada forno possua um medidor individual de consumo de combustível, que facilita mensurar as quantidades de combustível utilizadas, bem como identificar possíveis vazamentos na tubulação. Foi observado que a empresa não possui esse tipo de dispositivo, recomendando-se a sua implantação.

- **Melhoria de Layout da área de Processo:** foi observado que os fornos foram implantados em um galpão único junto com outros equipamentos (injetoras de alta pressão, equipamentos de usinagem, jateamento e outros equipamentos para acabamento de peças) gerando dificuldade de implantação do sistema de ventilação e captação de poluentes. Desta forma, recomenda-se que os fornos de fusão sejam transferidos para um galpão dedicado para realizar esta etapa do processo, melhorando assim o sistema de transporte dos poluentes desde o forno até o sistema de controle.

- **Melhoria do sistema de recuperação de resíduos:** observou-se no processo de fusão que a operação de retorno de canais e peças refugadas era realizada sem efetuar a remoção do desmoldante, gerando fumaça preta quando esse material era introduzido no forno para recuperação. Recomenda-se no entanto, que o material a ser recuperado esteja limpo (sem desmoldante) para que não haja este tipo de emissão.

- **Melhoria do Controle Operacional e Isolamento Térmico dos Fornos:** durante a pesquisa de campo, foi identificado que a empresa opera acima da capacidade nominal e com isolamento térmico dos fornos deficiente. No entanto, é recomendado que seja realizada a operação dos fornos dentro da carga nominal e o isolamento térmico adequado, visando o controle do consumo de energia e melhor controle operacional.

- **Melhoria na Operação dos Fornos:** na pesquisa de campo, foi verificado que o forno opera com a tampa aberta durante todo o ciclo de produção, sendo indicado que a tampa opere fechada, abrindo somente durante a operação de carregamento para evitar a perda de calor, promover a redução do consumo de energia e reduzir as emissões dentro do galpão.

- **Redução da Geração de Resíduos:**

Escória de Alumínio: foi observado que a escória gerada era disposta em uma caçamba metálica ao lado do forno de fusão para resfriamento. Após o resfriamento, a empilhadeira transportava a caçamba para o pátio de resíduos para retirada por terceiros para recuperação do alumínio metálico. Sendo assim, é recomendável realizar a redução da geração deste resíduo através de medidas como, fechamento da porta do forno durante sua operação, pois desta forma minimiza a oxidação da liga de alumínio, formando a escória.

Borra de Alumínio: observou-se que a borra era colocada na mesma caçamba que a escória e transportada para o pátio para retirada por terceiros. Recomenda-se a redução da borra de alumínio da mesma forma.

No caso do resfriamento destes materiais em caçamba, é recomendado de um equipamento chamado *Dross Cooler* (Figura 29). O material poderá ser recolhido em caçambas diferentes para serem introduzidas no equipamento que opera fechado, onde ocorre o resfriamento controlado e é injetado argônio para sequestrar o oxigênio, obtendo uma borra rica em alumínio metálico proporcionando um melhor custo-benefício na hora da venda.

Figura 29 – Dross Cooler



Fonte: STAS (2021).

Cavaco Metálico: observou-se que a empresa realiza de forma deficiente a segregação e armazenamento dos cavacos metálicos provenientes do processo de usinagem. Recomenda-se que esse material seja segregado, para drenar o excesso do óleo de corte para possibilitar a venda para terceiros realizarem o processo de briquetagem para posterior reutilização. A Figura 30 apresenta exemplos de briquetes feitos a partir de cavacos metálicos.

Figura 30 – Exemplos de Briquetes de Materiais Metálicos e Inorgânicos



Fonte: Tecnobri (2020).

- **Melhoria do Sistema de Ventilação Local Exaustora:** na pesquisa de campo, foi verificado que o Sistema de Ventilação Local Exaustora não possui limpeza e manutenção periódica, estando visivelmente deficiente a captação com presença de névoa no local. Desta forma, recomenda-se que seja realizada a limpeza e manutenção periódica do sistema, conforme programa a ser definido pela empresa para conservação do sistema.

- **Redução das Emissões no Sistema de Injeção de Alumínio em Alta Pressão:** foi observado que durante esse processo havia a geração de nevoa proveniente da aplicação de desmoldante nos moldes quentes, que era liberada durante a abertura da injetora para retirada da peça do molde. Sendo assim, recomenda-se a instalação do sistema de captação nas injetoras e a instalação de um sistema de ventilação local diluidora, onde atualmente são lanternins, como por exemplo, constituído de exaustores eólicos.

- **Redução das Emissões do processo de Fusão de Alumínio:** durante o levantamento de campo, foi observado que as maiores emissões eram provenientes do forno de alumínio. A sua eliminação poderá ser realizada através da aquisição do alumínio líquido diretamente da empresa que efetua a recuperação da sucata de alumínio. O transporte pode ser realizado por meio de caminhões, conforme apresentado na Figura 31.

Figura 31 – Caminhão transportador da liga líquida de alumínio



Fonte: Befesa (2021).

- **Melhoria na coleta de óleo lubrificante usado nas máquinas injetoras:** foi observado durante o processamento ocorre vazamento em conexões das injetoras e é direcionado para as bandejas de contenção onde é coletado apenas quando a bandeja está quase transbordando. Desta forma, recomenda-se que a coleta seja realizada com maior frequência de modo a não haver perdas durante sua utilização ou eliminação dos vazamentos por meio de manutenção corretiva e implementação de um plano de prevenção de vazamentos.

- **Melhoria do processo de Usinagem:** a empresa utiliza óleo de corte para este processo, que muitas vezes satura e necessita ser descartado. No entanto, para economia de materiais, é recomendado que este óleo seja submetido a tratamento adequado por terceiros para reutilização no processo, o que ocorre na empresa.

- **Revisão de Procedimentos Operacionais:** foi verificado que a empresa não realizou a revisão periódica dos Procedimentos Operacionais Padrão e do Plano de Manutenção Preventiva, sendo recomendado que seja realizada.

As propostas de melhorias apresentadas não foram selecionadas visando ganhos monetários, e sim visando os ganhos ambientais que é o foco deste trabalho. Porém é evidente que se as medidas propostas forem adotadas, parcialmente ou na sua totalidade, haverá ganhos ambientais e financeiros, pois o atendimento a conformidade com a legislação vigente, evita possíveis autuações, aplicação de multas devido ao enquadramento na Lei de Crimes Ambientais, e até mesmo o cancelamento da Licença Ambiental da empresa, suspensão das atividades, ações judiciais ou do Ministério Público, danificando a imagem da empresa.

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente trabalho, foi possível pesquisar o processo de fabricação de fundição de alumínio e pesquisar as tecnologias de controle aplicáveis objetivando atender a proposta de melhoria da eficiência do Lavador de Gases em uma indústria de fundição de alumínio secundário para redução das emissões de material particulado.

Os objetivos específicos também foram atendidos, conforme descrito a seguir:

Para elaboração do estudo de caso foi realizado um levantamento sobre o processo de fabricação de fundição de alumínio a partir de lingotes, onde, foram identificadas as fontes de poluição do ar e seus respectivos poluentes.

- Para o poluente objeto de estudo: Material Particulado, foram pesquisadas tecnologias de controle aplicáveis. Com base nesta pesquisa, elaborou-se uma proposta para adequações do lavador de gases implantado objetivando melhorar a eficiência de remoção do poluente material particulado.

- Com base nos dados de monitoramento da emissão de Material Particulado do Forno de Fusão de Alumínio Secundário, onde a análise dos resultados possibilitou concluir que a empresa necessita realizar adequações no equipamento implantado para atender os padrões estabelecidos pelas legislações vigentes.

Observou-se que não há uma legislação dedicada ao tema de fundição de alumínio secundário. Porém, visando a eficiência do equipamento, há o Decreto Estadual nº 8468 que dispõem em seu artigo 41 que “as fontes de poluição, para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão, adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD) para cada caso”, para a qual é adotada uma eficiência mínima de 95% para abatimento dos poluentes.

Sendo assim, a empresa poderá implantar o plano de melhorias proposto neste trabalho, voltado tanto para o processo produtivo quanto para o Lavador de Gases, a fim de que sejam atendidos os padrões estabelecidos pelas legislações vigentes e atenda aos critérios de Melhor Tecnologia Prática Disponível.

A empresa concretizando a proposta de melhorias, haverá uma significativa melhora na eficiência do Lavador de Gases para redução das emissões de material particulado, minimizando ou até mesmo evitando grandes impactos ambientais locais provenientes deste tipo de fonte, que deve ser comprovada por uma nova amostragem em chaminé. No entanto, caso a eficiência não melhore em função das melhorias propostas, caberá a mudança de tecnologia.

Recomenda-se a elaboração de um documento norteador para as indústrias de fundição de alumínio secundário, como por exemplo, a criação do Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível aplicável a este segmento, que não foi encontrado na pesquisa realizada, a exemplo dos casos de sucesso em segmentos como cerâmicos, papel e celulose, graxarias, curtume, têxtil entre outros, recomenda-se a elaboração do Guia Técnico Ambiental (que é um “documento elaborado pelo órgão ambiental do Estado de São Paulo para setores produtivos específicos, contendo uma descrição dos processos, os principais impactos ambientais potenciais e medidas de P+L aplicáveis”) para o segmento de Fundição em Geral.

E recomenda-se também que o poder público estabelecesse ou revisasse as leis visando regular as emissões atmosféricas, estabelecendo padrões de emissão específicos para esse segmento.

Recomenda-se, ainda, o prosseguimento dos estudos de modo a avaliar a redução das emissões de material particulado em função das melhorias propostas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABIS TOOLING & MOLDING. **Molde de alumínio Shenzhen China**. 2021. Disponível em: <<http://www.abismoldmaker.com/china-shenzhen-aluminium-mold>>. Acesso 07 jan. 2021.

ABREU, Mauricio Lobo. **Ocorrência de chuva ácida em unidade de conservação da natureza urbana - Estudo de caso Parque Estadual da Pedra Branca - Rio de Janeiro - RJ**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2005/MauricioLoboAbreuPEAMB2005.pdf>> Acesso em 20 jun. 2019.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **MB-3355 Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de Material Particulado**. Rio de Janeiro, RJ, Dez-1990. 11 páginas. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/nbr-12019-1990-mb-3355-efluentes-gasosos-em-dutos-e-chaminés-de-fontes-estacionarias-determinacao-de-material-particulado/4917007/>>. Acesso em 01 de fev. 2021.

ACIJ – Associação Comercial e Industrial de Joinville. Núcleo do Meio Ambiente. **Cartilha de Controle de Poluição Atmosférica**. Joinville, SC, 2004.

AFFONSO, Ariana Eliza. **Poluição atmosférica na esfera industrial: estudo de caso em indústria de embalagens fabricadas a partir do papel reciclado**. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2018. 89 P. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>. Acesso em 04 jan. 2019.

ALTA METAIS. **Reciclagem de cavaco de alumínio**. 2021. Disponível em: <<https://www.altametais.com.br/reciclagem-cavaco-aluminio>>. Acesso em 24 jan. 2021.

ALVARES JR, O. M.; LACAVA, C. I. V.; FERNANDES, P. S. **Emissões Atmosféricas**. Brasília: SENA/DN, 2002. 373p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL. **Indústria do alumínio reconhece a importância de práticas sustentáveis**. 2018. Disponível em: <<https://www.catalogodemineracao.com.br/artigo/industria-do-aluminio-reconhece-a-importancia-de-praticas-sustentaveis.html>>. Acesso em: 31 mar. 2021.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BEFESA. **Servicios de Reciclaje de Chatarras de Aluminio**. 2021. Disponível em: <<https://www.befesaaluminium.com/web/es/nuestros-procesos/detalle/Servicios-de-Reciclaje-de-Chatarras-de-Aluminio/>>. Acesso em 06 fev. 2021.

BOUBEL, Richard W. et al. **Fundamentals of air pollution**. 3th ed. North Carolina: Academic Press, 1994. 574 p.

BRAGA, Alfesio; BÖHM, György Miklós; PEREIRA, Luiz Alberto Amador. **Poluição atmosférica e saúde humana**. REVISTA USP, São Paulo, n.51, p. 58-71, setembro/novembro 2001.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L., et al., 2005, **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall.

BRAGA, A., PEREIRA, L. A. A., SALDIVA, P. H. N., **Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana**. In: **Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia no Brasil: os próximos 20 anos**. Campinas: Unicamp, 2002. 20p. Disponível em: <http://www.cgu.rei.unicamp.br/energia2020/papers/paper_Saldiva.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2021.

BRASIL. MMA. **Fontes fixas: poluição ambiental**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/fontes-fixas>>. Acesso em: 25 mai. 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Brasília, DF: CONAMA, [1990]. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em 20 jun. 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989**. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. Brasília, DF: CONAMA, [1989]. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em 20 jun. 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 8, de 6 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.. Brasília, DF: CONAMA, [1990]. Acesso em 20 jun. 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Brasília, DF: CONAMA, [2006]. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em 20 jun. 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 436, de 22 de dezembro de 2011**. Estabelece os 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. CONAMA, [2011]. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>>. Acesso em 20 jun. 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Brasília, DF: CONAMA, [2018]. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em 20 jun. 2019.

BOYD, David. R. ***Unnatural law: rethinking canadian environmental law and policy***. Vancouver: The University of British Columbia UBC Press, 2003.

CAVALCANTI, Paulina Maria Porto Silva. **Modelo de Gestão da Qualidade do Ar – Abordagem Preventiva E Corretiva**. Tese de Doutorado – Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. 252p. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK_EwjIwZXD0qbuAhVxD7kGHc9JBwUQFjADegQIBhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.pp.e.ufrj.br%2Fimages%2Fpublica%25C3%25A7%25C3%25B5es%2Fdoutorado%2FPaulina_Maria_Porto_Silva_Cavalcanti.pdf&usq=AOvVaw0gpoaE3MVLDPGasIR_Y1R>. Acesso em 14 jan. 2019.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria nº 10-P, de 12 de janeiro de 2010**. Dispõe sobre o Monitoramento de Emissões de Fontes Fixas de Poluição do Ar no Estado de São Paulo – Termo de Referência para a Elaboração do Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas (PMEA). Acesso em: 05 jan. 2021.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível: siderurgia e metalurgia**. 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/plano-de-reducao-de-emissao-de-fontes-estacionarias-prefe/guia-de-melhor-tecnologia-pratica-disponivel/>>. Acesso em 20 jan. 2021.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário de Gases do Efeito Estufa: Sustentabilidade Corporativa e Pública**. São Paulo, 2020. (110 p.), il. color., PDF, 11 MB. (Cadernos da Gestão do Conhecimento. Atualização Profissional).

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Operação e Manutenção de Equipamentos de Controle de Poluição do Ar**. Diretoria de Treinamento e Transferência de Tecnologia. Departamento de Treinamento para Ações Ambientais. Volume 1. São Paulo, 1994. (Arquivo Técnico).

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Poluentes**. 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>>. Acesso em: 11 jan. 2020.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2018** [recurso eletrônico] / CETESB; Equipe técnica Clarice Aico Muramoto [et al.]; Mapas Thiago De Russi Colella. São Paulo: CETESB, 2019.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2019** [recurso eletrônico] / CETESB; Equipe técnica Clarice Aico Muramoto [et al.]; Mapas Thiago De Russi Colella. São Paulo: CETESB, 2020.

CLUBE DO INSTALADOR. **Conhecendo Melhor Filtros e Lavadores de Gases**. 2014. Disponível em: <<https://fastseg.blogspot.com/2016/08/conhecendo-melhor-filtros-e-lavadores-de-gases.html>>. Acesso em 11 jan. 2021.

COELHO, S. Z. S. M. **Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internações por doenças respiratórias em função de condições meteorológicas na cidade de São Paulo**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

COFIBRA TELHAS. **Instalação de Telha Transparente Galpão**. 2021. Disponível em: <<https://www.cofibra.com.br/telha-transparente-galpao>>. Acesso em 24 jan. 2021.

COMMITTEE OF THE ENVIRONMENTAL and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. **Health effects of outdoor air pollution: state of the art**. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 153, p. 3-50; 477-498, 1996.

DERISIO, J. C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. 3.ed. São Paulo: Signus, 192p. 2007.

DJ FORNOS INDUSTRIAIS. **Conserto de forno para fusão**. 2021. Disponível em: <<https://www.djfornos.com.br/conserto-forno-fusao>>. Acesso em 07 jan. 2021.

DJ FORNOS INDUSTRIAIS. **Forno Barril**. 2021. Disponível em: <<https://www.djfornos.com.br/panela-transporte-aluminio>>. Acesso em 07 jan. 2021.

DJ FORNOS INDUSTRIAIS. **Panela de transporte de alumínio**. 2021. Disponível em: <<https://www.djfornos.com.br/panela-transporte-aluminio>>. Acesso em 07 jan. 2021.

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Mitigação dos efeitos das alterações climáticas**. 2008. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/>>. Acesso em 07 jan. 2021.

ELSON, D. M. **Atmospheric pollution: a global problem**. 2nd ed. Oxford: Blackwell; 1992. p.3. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132006000800003>. Acesso em: 08 jan. 2021.

EMBAIXADA DO JAPÃO NO BRASIL. **Questões Ambientais – Avanços Foram Feitos, Mas Há Novos Desafios a Serem Enfrentados**. 2012. Disponível em: <<https://www.br.emb-japan.go.jp/cultura/ambiente.html>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado do Rio de Janeiro, ano 2007**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.feema.rj.gov.br/Relatorio_2007.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.

FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Licenciamento Ambiental no Estado de São Paulo**. Departamento de Meio

Ambiente. São Paulo. Novembro/2014. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK Ewij5pOL9avuAhVpK7kGHRKLAWEQFjAGegQICxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.fiesp.com.br%2Farquivo-download%2F%3Fid%3D188861&usq=AOvVaw1y8oCs52kh8ZMFdGkTnJK7>>. Acesso em: 21 jan. 2021.

FILLKPLAS. **Emissões atmosféricas e lavadores de gases**. 2018. Disponível em: <<https://fillkplas.com.br/emissoes-atmosfericas-e-lavadores-de-gases/>>. Acesso em: 05 out. 2020.

FILLKPLAS. **Ventilação industrial com ventiladores centrífugos**. 2019. Disponível em: <<https://fillkplas.com.br/ventilacao-industrial-com-ventiladores-centrifugos/>>. Acesso: 31 mar. 2021.

GUY, J. J. **Canada: the struggle to govern. In: How we are governed: the basics of Canadian politics and government**. Harcourt Brace, Toronto, Ca, 1995.

HEALTH AND SAFETY AUTHORITY. **Local Exhaust Ventilation**. Dublin, 2014

IBERG. **A responsabilidade civil ambiental no Canadá: retrocesso ambiental?**. 2017. Disponível em: <<https://www.responsabilidadecivil.org/single-post/2018/04/02/a-responsabilidade-civil-ambiental-no-canada%C3%A1-retrocesso-ambiental-environment-liability-i>>. Acesso em: 31 mar. 2021.

IBRAME. **Lingotes de Alumínio**. 2020. Disponível em: <http://www.ibrame.com.br/lingotes_aluminio.php>. Acesso 03 jan. 2021.

INCA – Instituto Nacional do Câncer. **Poluição do Ar**. Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poluentes/poluicao-do-ar>>. Acesso em: 08 jan. 2021.

INDUSTRIAL POLLUTION. **Orifice scrubbers**. 2020. Disponível em: <<http://industrialpollution.blogspot.com/2015/02/orifice-scrubbers.html>>. Acesso em 10 jan. 2021

INTERNATIONAL LABOR OFFICE. **International Chemical Control Toolkit: Draft Guidelines**. [Geneva, 2009?]. Disponível em: <http://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/ctrl_banding/toolkit/icct/guide.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2021.

JESUS, Emanuel Fernando Reis de. **A importância do estudo das chuvas ácidas no contexto da abordagem climatológica**. Sitientibus, Feira de Santana, n. 14, p.143-153, 1996. Disponível em: <http://www2.uefs.br/sitientibus/pdf/14/a_importancia_do_estudo_das_chuvas_acidas.pdf> . Acesso em: 05 jun.2019.

JUNG. **Fornos Torre**. 2021. Disponível: <<https://www.jung.com.br/industrial/produto/fornos-torre/>>. Acesso em 05 jan. 2021.

JUNG. **Panelas de Transporte.** 2021. Disponível: <<https://www.jung.com.br/industrial/produto/panelas-de-transporte/>>. Acesso em 05 jan. 2021.

KALTE-TEC Cons. e Ins. Ind. LTDA. **Projeto do lavador de gases.** Projeto elaborado em 2013.

LEVY, A. **Ciências clínicas e organizações sociais – sentido e crise do sentido.** Belo Horizonte: Autêntica/FUMEC, 2001.

LYRA, D. G. P. **Modelo integrado de gestão da qualidade do ar na região metropolitana de Salvador.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266256/1/Lyra_DiogenesGanghis_Pimentelde_D.pdf>. Acesso em: 19 de jun. de 2019.

MACOFER EQUIPAMENTOS PARA TRANSPORTE. **Fábrica de Caçamba Roll On e Agrícola.** 2021. Disponível em: <<https://www.macofer.ind.br/fabrica-de-cacamba-roll-on-e-agricola/>>. Acesso 09 jan. 2021.

MARIO, M. P. J. **Poluição atmosférica como condicionante no processo de ocupação do espaço urbano: Análise na cidade de Porto Alegre, RS.** 2012. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Industrial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

MAX FORNOS INDUSTRIAIS. **Fornos Industriais.** Disponível em: <<http://www.maxfornos.com.br/fornos-Industriais/fornos-industriais/empresas-de-fornos-industriais/empresas-de-fornos-industriais-em-itapevi>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

MENDES, P. R. A. **Padrões de emissões atmosféricas: fontes fixas e móveis.** Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP. Curso de Engenharia Ambiental. Poluição Ambiental II. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwixpKkr5DuAhVQK7kGHeWmDaUQFjACegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fedisciplinas.usp.br%2Fmod%2Fresource%2Fview.php%3Fid%3D2427314&usq=AOvVaw0_5Ra2HmLQUiXliTt7aVoS>. Acesso em: 10 jan. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Fontes fixas: poluição ambiental.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/fontes-fixas.html>>. Acesso em: 23 de jun. de 2019.

NAIME, ROBERTO; UTZIG, JANETE. **Monitoramento das Fontes de Emissão.** Revista Tecnologia e Tendência. 2020. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjBzufT4avuAhWAibkGHVkiAt0QFjABegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fperiodicos.feevale.br%2Fseer%2Findex.php%2Frevistatecnologiaetendencias%2Farticle%2Fdownload%2F1421%2F2027&usq=AOvVaw2AoGyavTgYdzSZd_JHJmv6>. Acesso em 19 jan. 2021.

MESQUITA, A. L. S.; GUIMARAES, F. A.; NEFUSSI, N.. **Engenharia de Ventilação Industrial**. São Paulo: CETESB, 1988. 442p.

O ARQUIVO. **O Grande Nevoeiro de 1952**. Disponível em: <<https://www.oarquivo.com.br/temas-polemicos/historia/329-o-grande-nevoeiro-de-1952.htm>>. Acesso em: 22 de jun. de 2019.

OLMO, NEIDE REGINA SIMÕES. **Poluição atmosférica e exposição humana: a evolução científica epidemiológica e sua correlação com o ordenamento jurídico**. São Paulo, 2010. Tese (doutorado) Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Programa de Patologia.

OMS. **Guias de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: Actualización mundial 2005 – Resumen de evaluación de los riesgos**. Ginebra, Suíça: OMS, [2005]. Disponível em:

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.0_2_spa.pdf;jsessionid=EC4CA561A4806F4C2C1695BBE9553DF7?sequence=1>.

Acesso: 21 de jun. de 2019.

OPAS; OMS. **Níveis de poluição do ar estão crescendo em muitas das cidades mais pobres do mundo**. OPAS/OMS Brasil, Brasília, DF, 12 maio 2016. Disponível em: <http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5096:niveis-de-poluicao-do-ar-estao-crescendo-em-muitas-das-cidades-mais-pobres-do-mundo&Itemid=839>. Acesso em: 20 jun. 2019.

PIRES, D. O. **Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e Sua Contribuição para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Estratégico) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005.

Pope III C A, Dockery D W. **Health Effects of Fine Particulate Air Pollution; Lines that Connect**. *J. of the Air & Waste Management Association* 2006; 56: 709-742.

PORTAL EDUCAÇÃO TECNOLOGIA EDUCACIONAL LTDA. **Sistema de gestão ambiental e auditoria ambiental**. São Paulo, [2012]. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/biologia/sistema-de-gestaoambiental-e-auditoria-ambiental/16562>> Acesso: 21 de jun. de 2019.

REFRATA Refratários Ltda. **Container para Transporte Rodoviário**. 2021. Disponível em: <<https://www.refrata.com.br/aplicacoes/equipamentos/container-para-transporte-rodoviario>>. Acesso em 06 fev. 2021.

RENOVAR VENTILAÇÃO NATURAL. **Exaustor Solar – Renovar Ventilação**. 2021. Disponível em: <<https://www.renovarventilacao.com.br/ver-produtos/exaustor-solar/4>>. Acesso em 24 jan. 2021.

ROBINS & COTRAN. **Bases patológicas das doenças**. Rio de Janeiro: Elsevier; 2005. p. 447-453.

SALGADO, P. E. T.. **Informações gerais ecotoxicológicas de Material Particulado**. Salvador: Centro de Recursos Ambientais – CRA. 2003. 155p. (Caderno de referência ambiental; v. 14).

SANTOS, C. F. R. T. T. **Análise da significância e caracterização de fontes estacionárias individualizadas visando o monitoramento atmosférico não radiológico no campus IPEN/CNEN-SP**. Tese (Mestrado em Ciências de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Universidade de São Paulo. 2017. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-23022018-094649/publico/2017SantosAnalise.pdf>>. Acesso em 07 fev. 2021.

SÃO PAULO. **Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, SP: Assembleia Legislativa, [1976]. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>>. Acesso em 20 jun. 2019.

SÃO PAULO. **Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013**. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e da providencias correlata s. São Paulo, SP: Assembleia Legislativa, [2013]. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>>. Acesso em 20 jun. 2019.

SÃO PAULO. **Deliberação CONSEMA nº 20, de 24 de Setembro de 2019**. Aprova a Classificação da Qualidade do Ar – Relação de Municípios e Dados de Monitoramento – proposta pela CETESB. São Paulo, SP: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA, [2019]. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/consema/2019/09/del20_19-qualidade-do-ar-1.pdf>. Acesso em 20 jan. 2021.

SÃO PAULO. **Lei nº 997, de 31 de maio de 1976**. Dispõe sobre controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, SP: Assembleia Legislativa, [1976]. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1976/lei-997-31.05.1976.html>>. Acesso em 20 jun. 2019.

SÃO PAULO. **Lei nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016**. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH e dá providencias correlatadas. São Paulo, SP: Assembleia Legislativa, [2016]. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2016/lei-16337-14.12.2016.html>>. Acesso em 20 jun. 2019.

SÃO PAULO. **Resolução SMA nº 79, de 04 de Novembro de 2009**. Estabelece diretrizes e condições para a operação e o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos sólidos em Usinas de Recuperação de Energia – URE. São Paulo, SP [2009]. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/resolucao/2009/2009_res_est_sma_79.pdf>. Acesso em 20 jan. 2021.

SELLET. **Ventilação Geral Diluidora.** 2019. Disponível em: <<http://www.sellet.com.br/artigos-tecnicos/100-ventilacao-geral-diluidora.html>>. Acesso em: 31 mar. 2021.

SEMA – Secretário de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Governo do Paraná. **Resolução nº 16/2014 – SEMA, de 26 de Março de 2014.** Disponível em: <<http://venus.maringa.pr.gov.br/residuos/arquivo.php?id=112>>. Acesso em 01 de fev. 2021.

SILVA, Débora. **Poluição do ar: a poluição do ar refere-se a emissão...Todo Estudo,** [S.l.]: Contteudo Media Group, [2016]. Disponível em: <<https://www.todoestudo.com.br/geografia/poluicao-do-ar>>. Acesso em 20 jun. 2019.

SOLO STOCKS. **Injetora Hidráulicas - Alumínio Latão Injeção Sob-pressão.** 2018. Disponível em: <<https://www.solostocks.com.br/venda-produtos/outra-maquinaria/injetora-hidraulicas-aluminio-latao-injecao-sob-pressao-1145673>>. Acesso 07 jan. 2021.

SPECIATE DATABASE MANAGEMENT SYSTEM. **Secondary Aluminum Reverberatory Furnace,** *Speciation Database.* U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC. Profile Number 20101. 1989. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-11/documents/b12s08.pdf>>. Acesso em 12 jan.2021.

SPECIATE DATABASE MANAGEMENT SYSTEM. **Secondary Aluminum Plant – General,** *Speciation Database.* U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC. Profile Number 90009. 1989. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-11/documents/b12s08.pdf>>. Acesso em 12 jan.2021.

STAS. **Dross Cooler.** 2021. Disponível em: <<https://www.stas.com/en/products/metal-treatment-and-casthouse-technologies/igdc-inert-gas-dross-cooler/>>. Acesso em 24 jan. 2021.

SUSUKI, R. **Monitoramento da qualidade do ar: avaliação e metodologia baseada no licenciamento ambiental.** ABES. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1999.

TECNOBRI. **Prensas Briquetadeiras Hidráulicas.** 2020. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwixmZzgtrXuAhXmGbkGHbWzCrkQFjAAegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.tecnobriq.com%2Freciclando&usg=AOvVaw3AUxowjAgQ3hS8Zm83zRhL>>. Acesso em 24 jan. 2021.

USEPA. **AP-42: Compilation of Air Emissions Factors.** USA, 2020. Disponível em: <<https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>> 12 jan. 2021.

USEPA. **Chapter 2 – Wet scrubbers for Particulate Matter.** 2002. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/cs6ch2.pdf>>. Acesso em: 25 de jun. de 2019.

USEPA. **EPA History**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/history>>. Acesso em: 22 jun. 2019.

UNITAR. **Guidance for facilities on PRTR Data Estimation and Reporting**, IOMC. Geneva, Switzerland. 1998.

USEPA. **Guideline on ozone monitoring site selection, Research Triangle Park**. 1998. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK Ewi9IJ-3j5nuAhVIHbkGHb8zCmMQFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww3.epa.gov%2Fftnami1%2Farchive%2Ffiles%2Fambient%2Fcriteria%2Freldocs%2Fr-98-002.pdf&usq=AOvVaw0Cb9eenNm4je3XWcyENwtW>>. Acesso em 10 jan. 2021.

USEPA. **Managing Air Quality - Control Strategies to Achieve Air Pollution Reduction**. 2019. Disponível em: <<https://ktfcht4bve5bt5ibelp2ye6n7y--www.epa.gov.translate.goog/air-quality-management-process/managing-air-quality-control-strategies-achieve-air-pollution#control>>. Acesso em: 12 jan. 2021.

USEPA. **Overview of the Clean Air Act and Pollution**. 2012. Disponível em: <<https://www.epa.gov/clean-air-act-overview>>. Acesso em 07 fev. 2021.

USEPA. **Secondary Aluminum Operations**. 1995. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-11/documents/c12s08.pdf>>. Acesso em 04 jan. 2021.

VESIVIUS. **FDU**. Disponível em: <<https://www.vesuvius.com/en/our-solutions/pt-pt/foundry/non-ferrous-foundry/melt-treatment.html>>. Acesso em 10 jan. 2021.

VOTORANTIM METAIS. **Melhorias Ambientais da Fundação através da implantação de Projetos Lean Six Sigma**. Projeto de Participação na 21ª Edição do Prêmio FIESP de Mérito Ambiental. 2015. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKE wi2 ve8nZnuAhUGCrkGHX4XBrsQFjAAegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.fiesp.com.br%2Farquivo-download%2F%3Fid%3D192784&usq=AOvVaw2p4yRAEPYB 11t4j7A9B7W>>. Acesso 08 jan. 2021.

WIKIMEDIA COMMONS. **Torre de Spray Ciclônica**. 2014. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyclonicspray.png>>. Acesso em 12 jan. 2021.

WHO. World Health Organisation. **Sulfur oxides and suspended particulate matter. Environmental Health Criteria**, 8, Genève, 1979.

WRI BRASIL. **5 impactos pouco conhecidos da poluição do ar**. 2019. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/06/5-impactos-pouco-conhecidos-da-poluicao-do-ar-atmosferica>>. Acesso em: 31 mar. 2021.