



**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE**

ENGENHARIA MECÂNICA

WESLEY RODRIGUES DA SILVA

**ELIMINAR AS PARADAS NÃO PROGRAMADAS NOS ROTORES
DOS EXAUSTORES PRINCIPAIS DE SINTERIZAÇÃO**

**Conselheiro Lafaiete
2019**

WESLEY RODRIGUES DA SILVA

**ELIMINAR AS PARADAS NÃO PROGRAMADAS NOS ROTORES
DOS EXAUSTORES PRINCIPAIS DE SINTERIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. MSc. Edilberto da Silva Souza.

**Conselheiro Lafaiete
2019**

WESLEY RODRIGUES DA SILVA

Eliminar as paradas não programadas nos rotores dos exaustores principais de sinterização

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Edilberto da Silva Souza – Orientador – FUPAC

Prof. Me. Luciano J. V. Franco.– Avaliador – FUPAC

Prof. Esp. Heleno Alves Barbosa – Avaliador – FUPAC

**Conselheiro Lafaiete
2019**

Aos meus pais, Aparecida e Milton, pelo apoio, incentivo incansável e ajuda em todos os momentos da minha vida.

A minha esposa Júlia por me incentivar a buscar a realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por estar sempre presente na minha caminhada.

Agradeço aos meus pais, Aparecida e Milton, pelo incentivo, amor, dedicação, apoio e esforço para me proporcionar sempre o melhor.

Agradeço minha esposa Júlia pelo companheirismo, incentivo, paciência, carinho, amor, atenção e ajuda durante essa etapa.

Agradeço aos familiares pelo incentivo e auxílio.

Agradeço aos colaboradores da empresa pelo incentivo e auxílio que foram essenciais no meu crescimento, não somente como estudante, mas como ser humano.

Agradeço aos amigos da faculdade pela amizade, disponibilidade, apoio e incentivo.

Agradeço a instituição e professores pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço ao professor e orientador Edilberto pela compreensão, atenção, dedicação e disponibilidade.

Enfim, a todos que me ajudaram nessa caminhada a alcançar esse objetivo em minha vida.

Gaivota que se preza tem de sentir as estrelas, analisar paraísos, conquistar múltiplos espaços. Gaivota que se preza precisa buscar perfeição. Importante é olhar de frente, em uma, em dez, cem mil vidas. Para Fernão nada é limite. Voa, treina, aprende, paira sobre o comum do viver. Se o destino é o infinito, o caminho é nas alturas!

(Richard Bach)

RESUMO

A principal falha em equipamentos rotativos é o defeito de desbalanceamento de massa. Esse defeito resulta em esforços excessivos nos mancais que são os mais prejudicados, se não corrigidos causa a redução da vida útil e até mesmo a quebra dos mancais. O objetivo desse trabalho é eliminar a quantidade de paradas não programadas nos rotores dos exaustores da sinterização para correção de desbalanceamento devido à perda de material das chapas de desgastes causados pelo particulado quente proveniente do processo, essa perda é corrigida através do balanceamento onde é adicionado massa de correção para que o equipamento opere nas condições toleráveis de acordo com a norma ISO 10816. O particulado quente provido do processo da sinterização é o responsável pelo problema apresentado, com isso as ações corretivas são voltadas aos equipamentos que antecede os exaustores, os precipitadores, que são responsáveis pela filtragem desses agentes agressivos evitando que esses cheguem ao sistema de exaustão, tendo assim à emissão de gás limpo a atmosfera.

Palavras-chave: Desbalanceamento. Exaustores. Precipitadores.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Figuras

Figura 1 - Principais etapas de um processo siderúrgico.....	17
Figura 2- Fluxograma simplificado do processo siderúrgico integrado.....	18
Figura 3 - Esquema simplificado do processo de sinterização.....	19
Figura 4 - Vista explodida de um precipitador eletrostático.....	20
Figura 5- Princípio de funcionamento do precipitador eletrostático.....	21
Figura 6- Precipitador de simples estágio.....	22
Figura 7 - Precipitador de duplo estágio.....	22
Figura 8 - Vista em corte parcial do exaustor.....	23
Figura 9 - Uma massa atuando no plano CG.....	27
Figura 10 - Duas massas eqüidistantes.....	27
Figura 11 - Binário de desbalanceamento.....	28
Figura 12 - Desbalanceamento quase-estático.....	29
Figura 13 - Desbalanceamento dinâmico.....	29
Figura 14 - Instrumentos para balanceamento em campo.....	31
Figura 15 - Desgaste da carcaça.....	35
Figura 16 - Desgaste do rotor.....	35
Figura 17 - Massas de correções de balanceamento no rotor do exaustor.....	36
Figura 18 - Linha de alterações no processo.....	37
Figura 19 - Desenho do rotor.....	38
Figura 20 - Exaustor da sinterização.....	38
Figura 21 - Vista externa do precipitador.....	40
Figura 22 - Layout dos precipitadores, exaustores e chaminé.....	40
Figura 23 - Posicionamento do instrumento durante balanceamento.....	47
Figura 24 - Leitura de coleta pelo instrumento de balanceamento.....	48
Figura 25 - Comportamento do material particulado com velocidade normal.....	49
Figura 26 - Comportamento do material particulado com alta velocidade.....	49
Figura 27 - Vista isométrica dos novos precipitadores.....	50
Figura 28 - Layout proposto.....	50

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Intervenções nos exaustores no ano de 2018.	46
Gráfico 2 - Intervenção nos exaustores no ano de 2019.	46

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Descrição das etapas do MASP.....	33
Tabela 2 - Valores de vibração x potência do equipamento.....	34
Tabela 3 - Dados de projeto dos precipitadores eletrostáticos.....	39
Tabela 4 – Planos de manutenções.....	42
Tabela 5 – Ações da manutenção.....	43
Tabela 6 - Intervenções 2018.....	44
Tabela 7 - Intervenções até outubro de 2019.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FUPAC	Faculdade Presidente Antônio Carlos
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
RPM	Rotação Por Minuto
L.O	Lado Oposto
L.O.A	Lado Oposto Acionado
CG	Centro de Gravidade
MM/S	Milímetros por segundo
MASP	Método de Análise e Solução de Problemas
PE	Precipitador
T/H	Toneladas por hora
CV	Cavalo-Vapor
HPS	Hybrid Pelletized Sinter
ISO	International Organization for Standardization
M ³ /min	Metros cúbicos por minuto
KG	Quilograma
M ²	Metros quadrados
F _{cent1}	Força Centrifuga 1
F _{cent2}	Força Centrifuga 2

LISTA DE SÍMBOLOS

°C Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 Justificativa	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Introdução	16
2.2 Processo siderúrgico	16
2.3 Sinterização.....	18
2.4 Precipitador	19
2.5 Exaustores	22
2.6 Manutenções.....	23
2.6.1 Manutenção corretiva	24
2.6.2 Manutenção preventiva	25
2.6.3 Manutenção preditiva	25
2.7 Desbalanceamento	26
2.7.1 Desbalanceamento estático	27
2.7.2 Binário de desbalanceamento	28
2.7.3 Desbalanceamento semi-estático	28
2.7.4 Desbalanceamento dinâmico	29
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	30
3.1 Delineamento da Pesquisa.....	30
3.2 Coleta e Análise dos Dados	30
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	34
4.1 Identificação	34
4.2 Observação	36
4.3 Análise.....	41
4.4 Plano de ação	41
4.5 Ação	42
4.6 Verificação.....	44
4.7.Padronização	46
4.8 Reflexão	48

5 CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais decorridos nos últimos anos devido à contaminação do meio ambiente recorrente a poluentes gerados pelas indústrias e superpopulação tem sido merecedores de estudos. A implantação das indústrias veio de forma a viabilizar o crescimento da economia, porém as medidas ambientais e planejamento urbano pouco foram tratados com o objetivo de evitar problemas resultante a falhas no processo, intensificação das atividades e disposição de resíduos de forma inadequada (OLIVEIRA, 2006).

A eliminação ou diminuição de resíduos gerados pelas empresas poluidoras através de medidas preventivas e controle da poluição ambiental foram tomadas pela necessidade do desenvolvimento sustentável e regulamentações cada vez mais exigentes (SIMIÃO, 2011)

Para a produção do aço existem rotas tecnológicas alternativas, onde as usinas podem ser classificadas em relação ao grau de integração, como: usina integrada, semi-integrada e não integrada. O processo siderúrgico de uma usina integrada esta dividida em três grandes etapas: redução, refino e conformação mecânica. As usinas semi-integradas são aquelas em que apenas as etapas de refino e conformação mecânica estão presentes. As usinas não-integradas apresentam apenas uma das etapas do processo siderúrgico, que pode ser redução ou conformação mecânica.

Na etapa de refino incluem processos, dentre eles está o processo de sinterização. Essa etapa de um processo siderúrgico consiste em aglomerar uma mistura de minério de ferro, coque ou carvão vegetal, fundentes, sínter de retorno e água (MOURÃO, 2007). Porém os particulados gerados no processo diminuem a permeabilidade da carga e posteriormente a produtividade da sinterização. A maioria do particulado proveniente desta etapa é retido pelo precipitador eletrostático.

O precipitador eletrostático é um equipamento de controle de poluição em siderurgia que emitem gases e partículas poluidoras a atmosfera. Este equipamento capta os particulados e libera gás limpo para a atmosfera. Basicamente os fabricantes produzem dois tipos: o seco e o molhado. O tipo seco que será referência aos estudos é empregado para remover particulado seco, como a poeira gerada no processo de sinterização.

Os fatores que influenciam na eficiência dos precipitadores eletrostáticos podem ser resumidos em três grandes grupos, sendo eles: o processo, operação e manutenção. O estudo será voltado no processo da manutenção dos precipitadores visando melhorar a captação de particulados impedindo que uma grande concentração desses agentes chegue aos equipamentos de exaustão.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar melhorias visando a eliminação das paradas não programadas nos rotores dos exaustores principais de sinterização.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar o histórico de intervenções em um determinado período de tempo;
- Identificar as principais causas das falhas e manutenções;
- Apresentar ações corretivas para as causas raízes.

1.2 Justificativa

O trabalho visa apresentar um estudo sobre as paradas não programadas ocorridas nos rotores dos exaustores principais da sinterização, visando à redução de falhas nos equipamentos para aumentar a disponibilidade e produtividade da planta.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Introdução

Para eliminar os números de paradas não programadas nos exaustores de sinterização é necessário estudar o processo a fim de chegar a um resultado satisfatório no final do trabalho. Por isso a revisão da literatura contempla os seguintes temas:

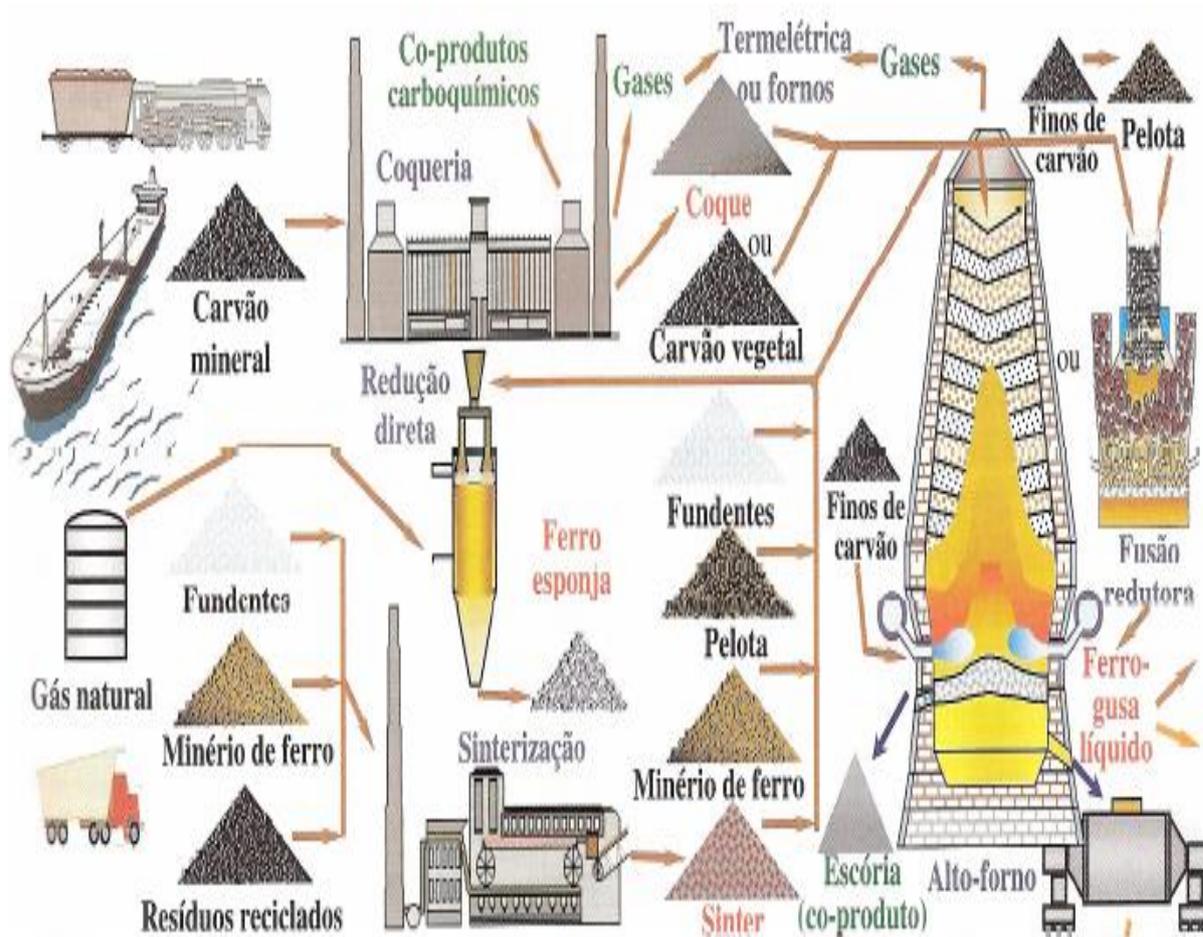
- Processo siderúrgico;
- Sinterização;
- Precipitador;
- Exaustores;
- Tipos de manutenções;
- Desbalanceamento.

2.2 Processo siderúrgico

De acordo com Mourão (2007), atualmente as usinas siderúrgicas são divididas em dois grupos: usinas semi-integradas e integradas. Em uma usina semi-integrada o aço obtido no processo é originado de ferro secundário, ou seja, sucata de aço, eliminando a etapa de redução do minério de ferro. O aço comercial é obtido por meio da fusão de sucata metálica através de fornos elétricos na aciaria, realizando assim a reciclagem do aço. Em uma usina integrada o aço é obtido através do minério de ferro que é a matéria prima do processo, nos altos fornos o minério é transformado em ferro-gusa em seguida transformado em aço através da operação de conversão na aciaria.

A Figura 1 a seguir apresenta as principais etapas em uma usina integrada para a obtenção do ferro-gusa.

Figura 1 - Principais etapas de um processo siderúrgico.



Fonte: Rizzo (2005).

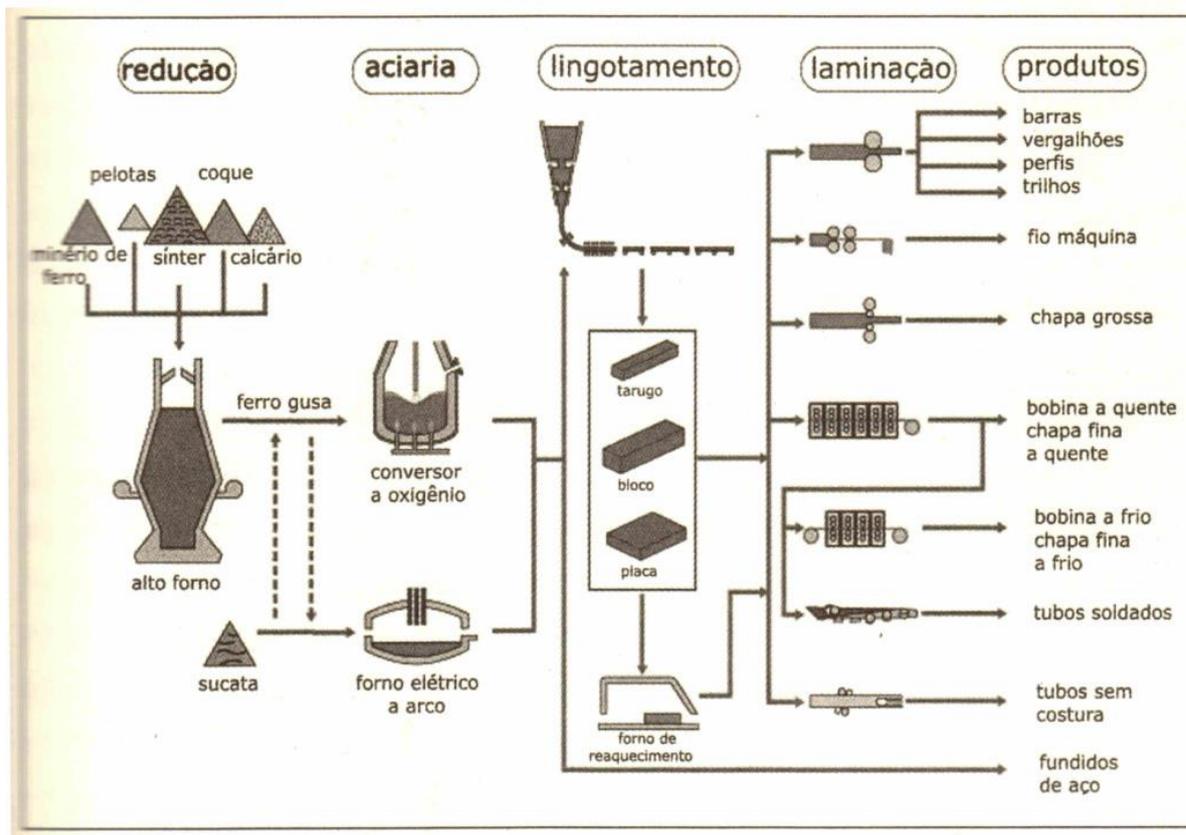
De acordo com Mourão (2007), o processo de uma usina siderúrgica integrada é constituído das seguintes etapas principais:

- Extração do ferro de seu minério nos altos-fornos;
- A conversão do ferro gusa, produto intermediário, em aço;
- O lingotamento do aço líquido de forma a solidificar em forma conveniente para as operações seguintes;
- A conformação do metal na forma de produto.

Em uma usina siderúrgica semi-integrada se inicia com a fusão da sucata metálica em fornos elétricos a arco na aciaria, onde o processo continua seguindo basicamente as etapas de uma usina integrada.

A Figura 2 a seguir apresenta o fluxograma simplificado do processo siderúrgico integrado.

Figura 3- Fluxograma simplificado do processo siderúrgico integrado.



Fonte: Mourão (2007).

2.3 Sinterização

Segundo Mourão (2007), o processo de sinterização de uma usina visa à aglomeração dos finos que garantem um maior aproveitamento e menor emissão de poeira. Esse processo utiliza uma máquina de esteira rolante, onde nela são depositado o minério de ferro e os finos de coque ou carvão, essa camada formada e de aproximadamente 2000 mm de largura por 700 mm de altura onde é aquecida por uma frente de combustão, alimentada por ar sugado onde percorre da superfície da camada de material até o fundo da camada gerando uma ligação incipiente que fará a aglomeração dos particulados, tendo como resultado o sinter.

De acordo com Mourão (2007) a mistura proveniente do processo de sinterização é formada dos seguintes compostos:

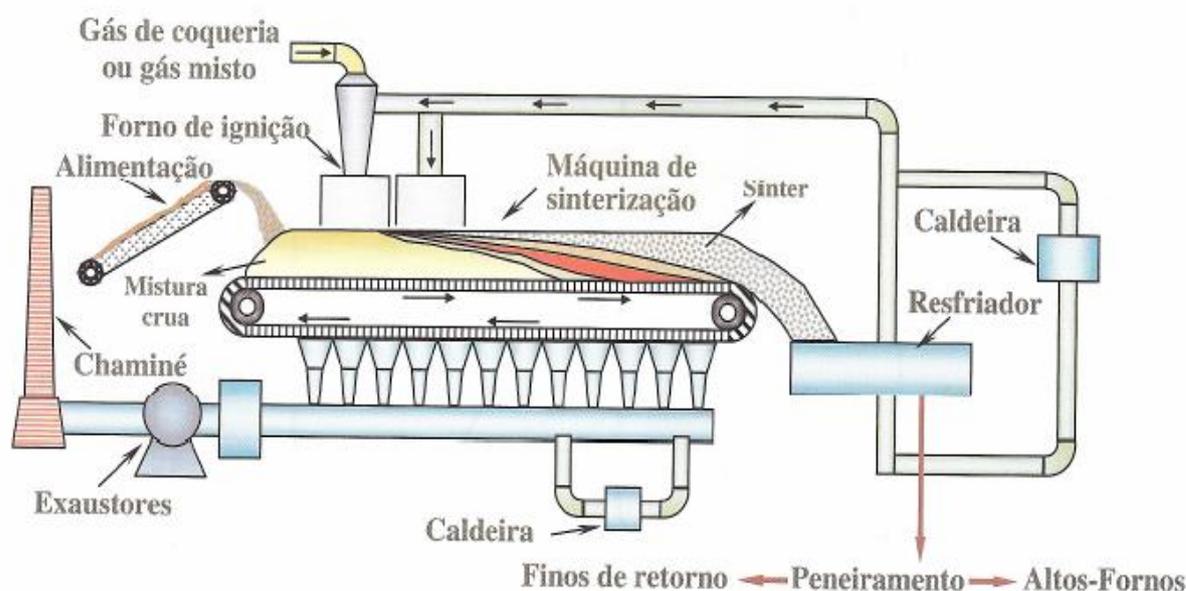
- Finos de minério;
- Coque ou carvão vegetal;
- Fundentes;
- Sinter de retorno;

- Água.

As partículas de minério devem apresentar granulometria desejável de 0,5mm a 7mm, já em relação as partículas de coque entre 1mm e 3mm. A ordem da quantidade de coque utilizada na carga deve ser de 4%. A máxima temperatura atingida na zona de carga durante o processo na zona de combustão deve ser em torno de 1300°C a 1400°C.

A Figura 3 a seguir mostra o esquema simplificado do processo de sinterização de uma usina.

Figura 4 - Esquema simplificado do processo de sinterização.



Fonte: (Rizzo, 2005).

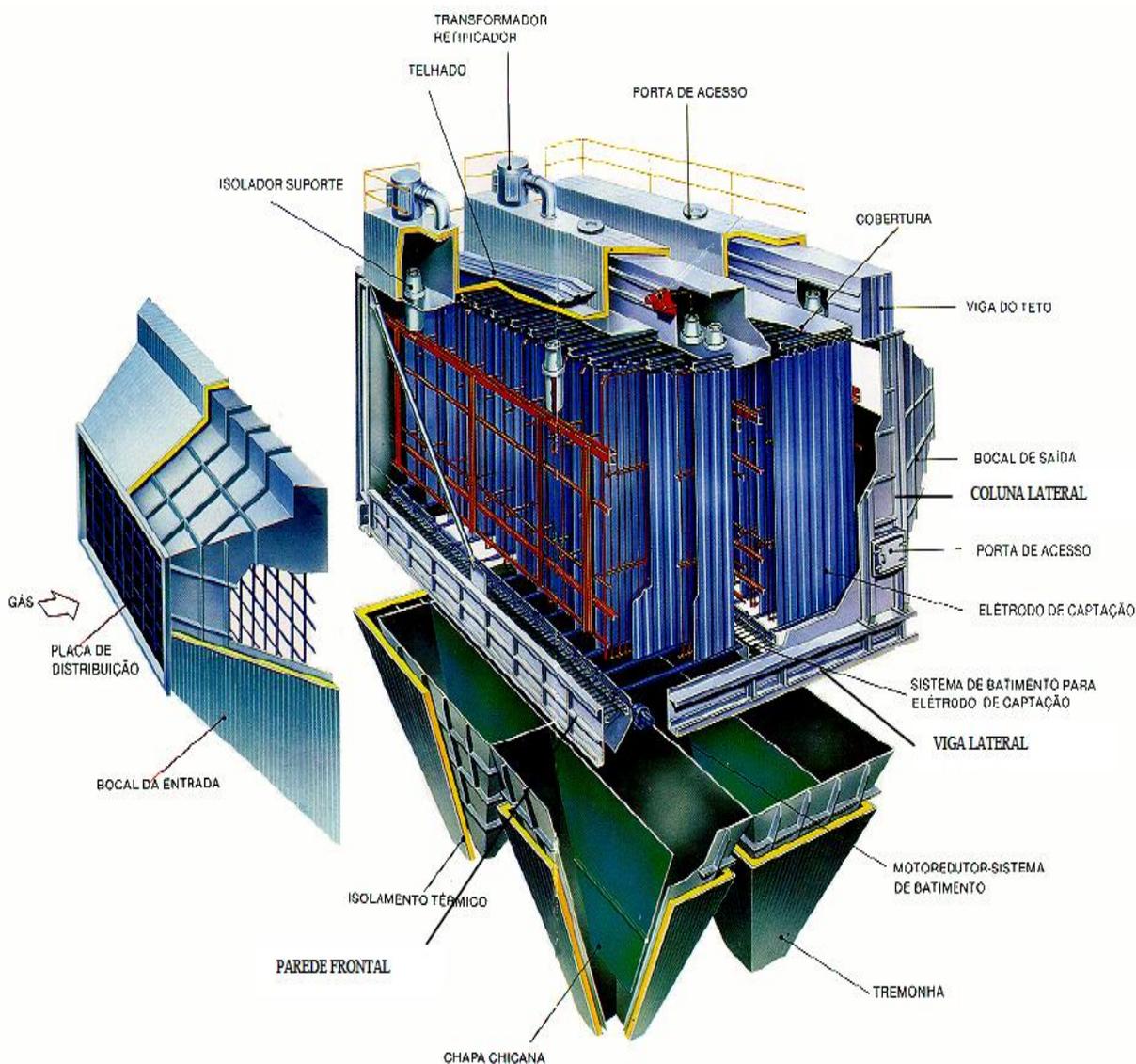
Segundo Mourão (2007) na sinterização o precipitador eletrostático é o equipamento responsável pelo tratamento dos gases da queima do processo e controle de material particulado antes da emissão atmosférica.

2.4 Precipitador

O precipitador eletrostático é um dos dispositivos mais utilizados para remoção da camada de material particulado coletado nos processos industriais (PARKER, 2003).

A Figura 4 mostra a vista explodida de um precipitador eletrostático.

Figura 5 - Vista explodida de um precipitador eletrostático.



Fonte: CBC (1989).

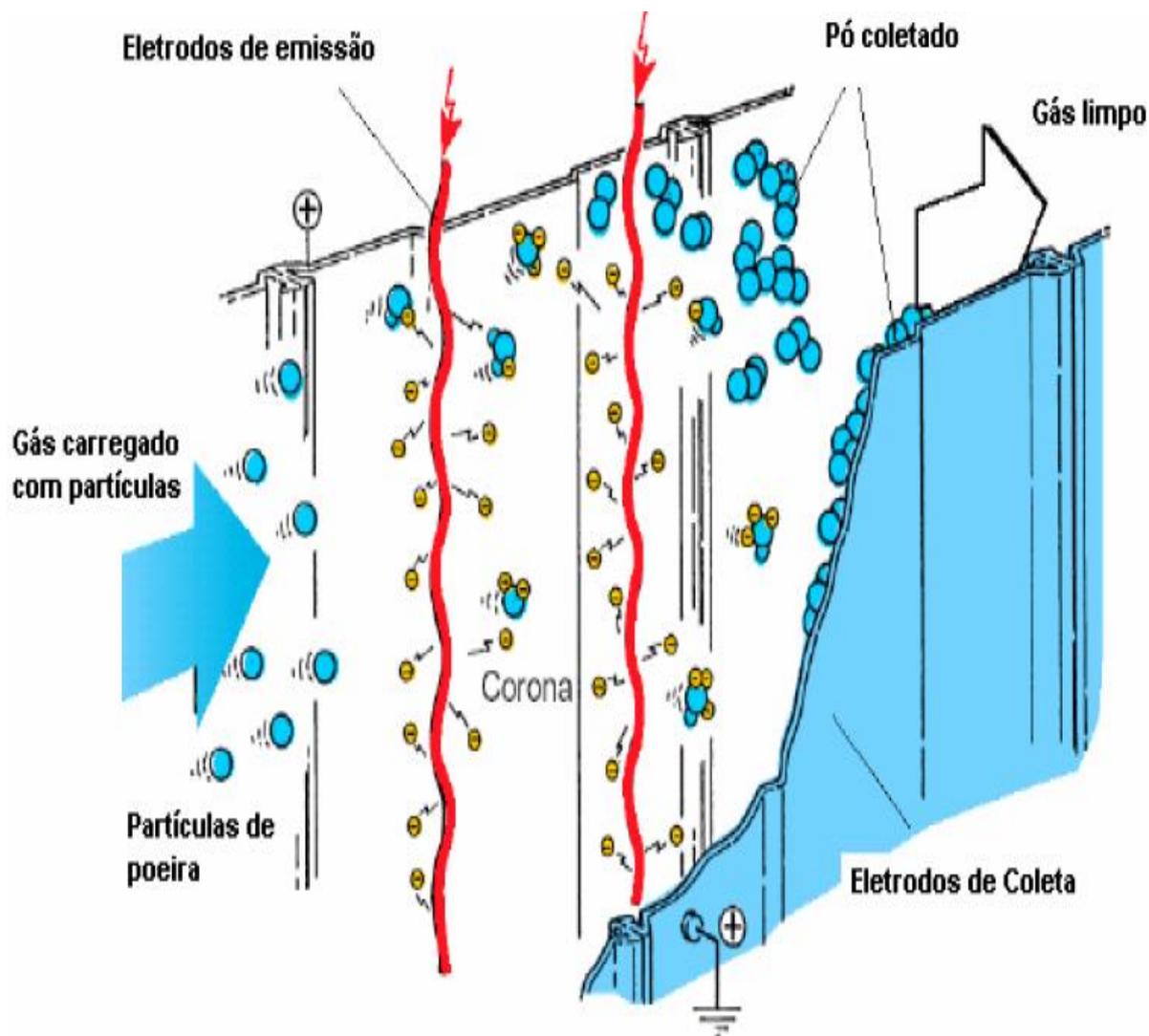
O princípio de funcionamento de um precipitador eletrostático, conforme Figura 5, baseia no fornecimento de carga elétrica as partículas para formar íons gasosos através de descargas do efeito corona, os íons ou elétrons ao atacarem as partículas deixam as carregadas eletricamente, o campo elétrico entre os eletrodos de coleta e descarga atrai as partículas carregadas para o eletrodo com polaridade contrária ao da partícula (LISBOA; SCHIRMER, 2007).

De acordo com Parker (2003) os precipitadores eletrostáticos possuem algumas vantagens relacionadas a equipamentos de mesma categoria, tais como:

- Opera em temperatura elevadas;
- Alta eficiência na coleta de particulados;

- Baixa perda de carga;
- Baixo custo de manutenção.

Figura 6 - Princípio de funcionamento do precipitador eletrostático.

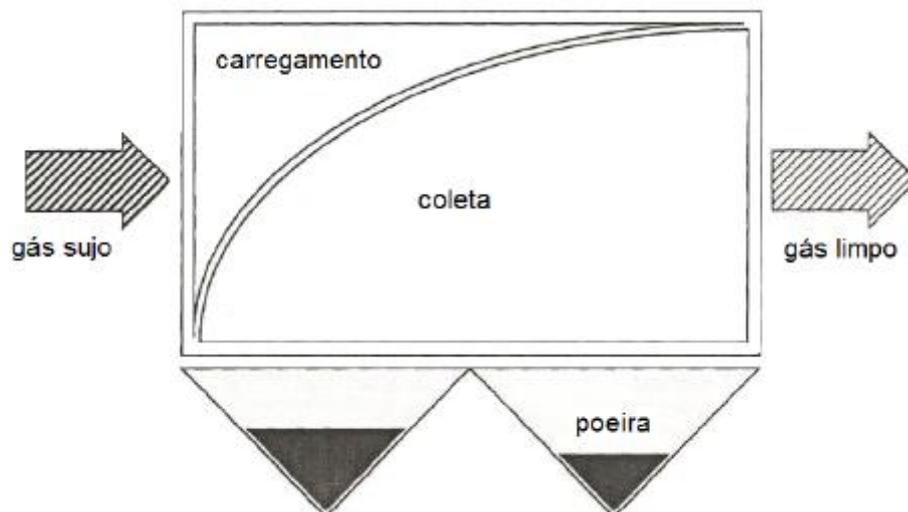


Fonte: PORLE; FRANCIS; BRADBURN (2005).

De acordo com Parker (1997) são encontrados na prática dois tipos de precipitadores eletrostáticos, são eles:

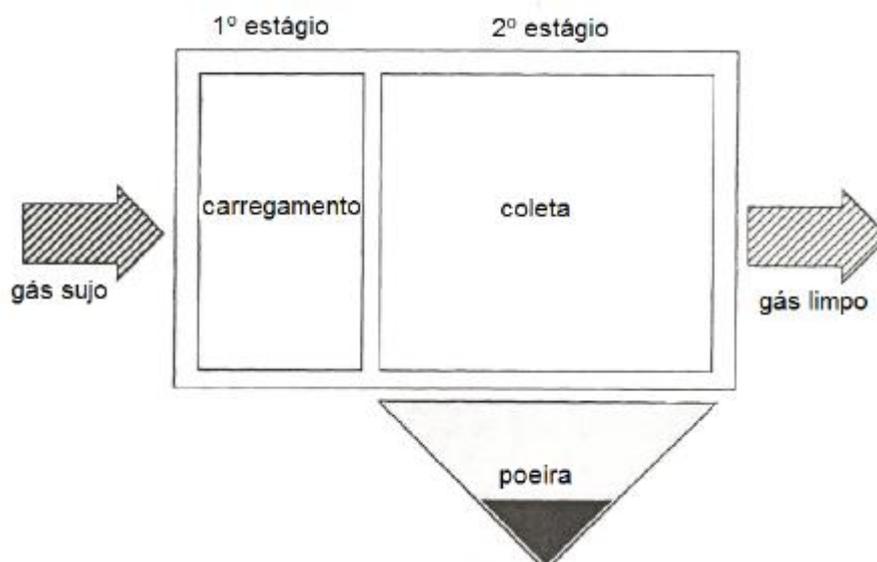
- Simples estágio: neste caso o processo de carregamento e migração de partículas para a placa coletora ocorre em uma única etapa, conforme Figura 6;
- Duplo estágio: neste caso as partículas são carregadas na primeira seção e removidas na seção seguinte, conforme Figura 7.

Figura 7- Precipitador de simples estágio.



Fonte: Parker (1997).

Figura 8 - Precipitador de duplo estágio.



Fonte: Parker (1997).

2.5 Exaustor

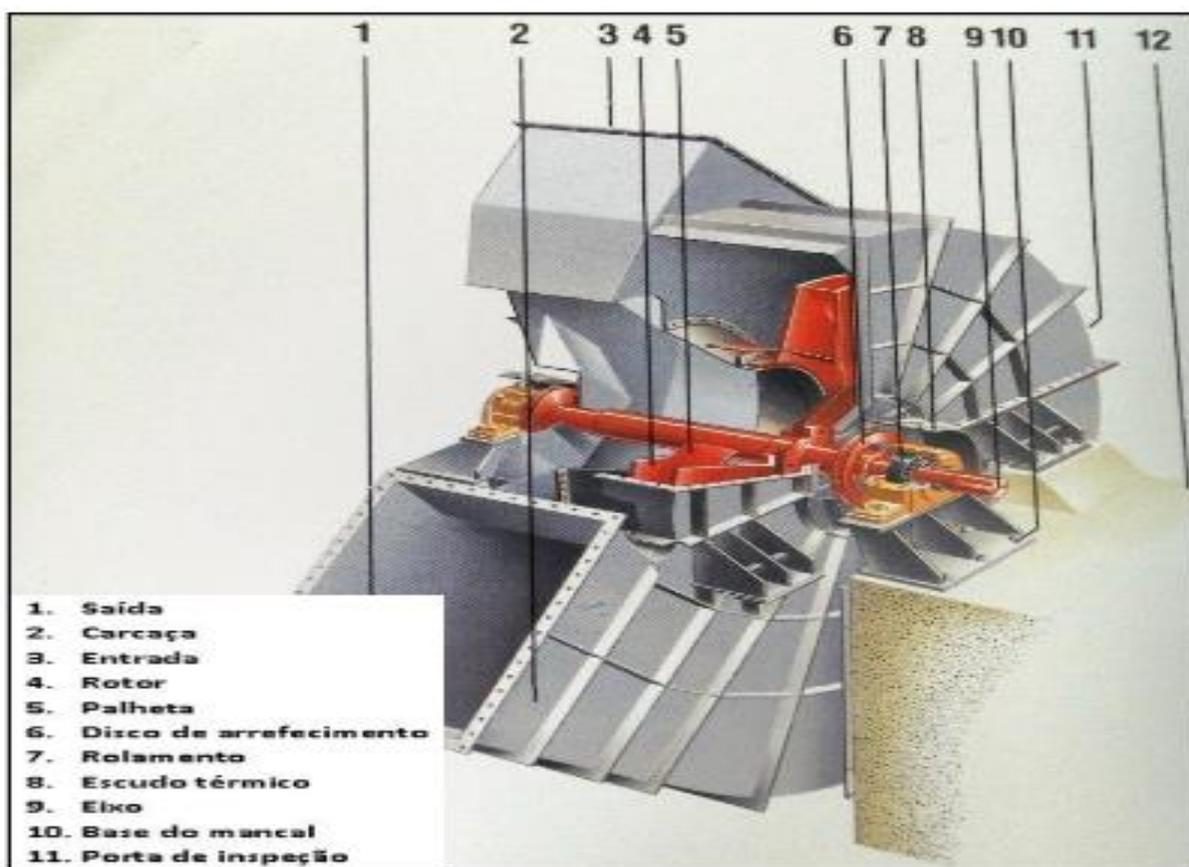
De acordo com Araújo (2007) os exaustores industriais são equipamentos que tem a finalidade de retirar ar do ambiente através do acionamento de um motor elétrico na maioria dos casos. O processo de exaustão tem a função de retirar primeiramente o calor do ambiente e também é responsável pela retirada de impurezas.

Os exaustores são utilizados para a aeração de ambientes com excesso de:

- Temperatura;
- Umidade;
- Vapores;
- Fumaças;
- Mofos;
- Odores;
- Outros poluentes.

A Figura 8 mostra uma vista em corte parcial de um exaustor, identificando seus principais componentes de construção mecânica.

Figura 9 - Vista em corte parcial do exaustor.



Fonte: FLSMIDHT (2009).

2.6 Manutenções

De acordo com Kardec e Nascif (2006) existem seis diferentes tipos de manutenções em relação a suas classificações, sendo:

- Manutenção corretiva não planejada;

- Manutenção corretiva planejada;
- Manutenção preventiva;
- Manutenção preditiva;
- Manutenção detectiva;
- Engenharia de manutenção.

Segundo Lafraia (2002) e Ramirez, Caldas e Santos Jr. (2002) a classificação quanto aos tipos de manutenções são agrupadas em duas categorias, sendo os demais tipos associados a elas:

- Manutenção corretiva;
- Manutenção preventiva.

No trabalho serão adotados os três tipos de manutenções: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

2.6.1 Manutenção corretiva

Para Kardec e Nascif (2006) manutenção corretiva é agir para a correção da falha ou desempenho menor que o esperado no equipamento, subdivide em:

- Manutenção corretiva não planejada: correção da falha do equipamento é feita de maneira aleatória que implica em parada de produção, custo elevado e maior avaria do equipamento.
- Manutenção corretiva planejada: correção da falha do equipamento é realizada de maneira planejada em função de acompanhamento detectivo, preditivo ou por uma decisão do gerente da área que implica em atividades realizadas mais rápidas, com maior segurança e com custo mais baixos comparados à manutenção corretiva não planejada.

De acordo com Lafraia (2002) a manutenção corretiva é definida como as ações tomadas para o sistema sair do estado falho para o estado disponível ou operacional para o processo.

Conforme a norma 5462 (1994) trata a manutenção corretiva como à manutenção que recoloca um equipamento as condições de trabalho requeridas após uma ocorrência de uma pane.

2.6.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é um tipo de manutenção contraditória a manutenção corretiva apresentada acima, ela visa evitar a falha, ou seja, realiza ações de modo a prevenir a falha do equipamento.

Para Kardec e Nascif (2006) a manutenção preventiva é definida como manutenção que visa a obedecer a um plano elaborado previamente em intervalos de tempos planejados com o objetivo de reduzir, ou evitar, ou a queda de desempenho dos equipamentos.

De acordo com a norma 5462 (1994) trata a manutenção preventiva como a manutenção destinada a diminuir a probabilidade de possíveis falhas ou degradação de um item a partir de intervenções executadas em intervalos predeterminados de acordo com especificações prescritas.

De acordo com Ramirez, Caldas e Santos Jr. (2002) as vantagens de uma manutenção preventiva bem aplicada serão:

- Aumento de produção;
- Redução de gastos operacionais;
- Redução do período de inatividade devido à falha de equipamentos;
- Antecipação na correção de problemas operacionais.

Desvantagens da manutenção preventiva de acordo com Ramirez, Caldas e Santos Jr. (2002):

- Alto investimento;
- Complexidade de gerenciamento comparado à manutenção corretiva;
- Inatividade dos equipamentos durante intervenções.

Outra desvantagem trazida por Kardec e Nascif (2006) seria a probabilidade de introdução de falhas não existentes no equipamento devido a danos de paradas e partidas, falhas humanas, contaminações e defeitos de sobressalentes.

2.6.3 Manutenção preditiva

De acordo com Kardec e Nascif (2006) a manutenção preditiva é definida como a intervenção do equipamento a partir de alterações nos parâmetros de condição ou desempenho, baseado em um acompanhamento que obedece a uma sistemática.

Segundo Lucatelli (2002) o surgimento da manutenção preditiva se associa ao desenvolvimento da informática que é baseada no monitoramento dos sinais de comportamento de um equipamento.

Vantagens da manutenção preditiva de acordo com Lucatelli (2002):

- Prever programação das intervenções de acordo as necessidades;
- Eliminar desmontagens desnecessárias;
- Aumentar vida útil e disponibilidade do equipamento;
- Aumentar confiabilidade do equipamento e impedir propagação dos danos;
- Reduzir paradas não planejadas.

Pontos negativos da manutenção preditiva de acordo com Lucatelli (2002):

- Grande volume de recursos iniciais;
- Mão de obra qualificada e treinada;
- Restrição em sistemas complexos.

2.7 Desbalanceamento

Segundo Sousa (2005) o defeito de desbalanceamento é um dos problemas mais encontrados em máquinas rotativas que é oriundo devido à concentração de massa em um ponto ao redor do eixo de um rotor. A massa concentrada provoca alterações no centro de gravidade fazendo com que haja um afastamento do eixo principal de inércia do eixo de rotação.

De acordo com Góz e Silva (2013) o desbalanceamento de uma máquina rotativa é decorrente a uma distribuição de massa não uniforme do rotor ao redor do eixo de rotação. As razões ao qual acontecem as imperfeições na distribuição de massa são diversas, tais como:

- Assimetrias;
- Desgastes;
- Imperfeições geométricas;
- Deformações permanentes devido a esforços ou efeitos térmicos.

De acordo com Wowk (1995) existem quatro tipos de desbalanceamento que são diferenciados entre eles a partir de uma análise dos vetores resultantes nos mancais, são eles:

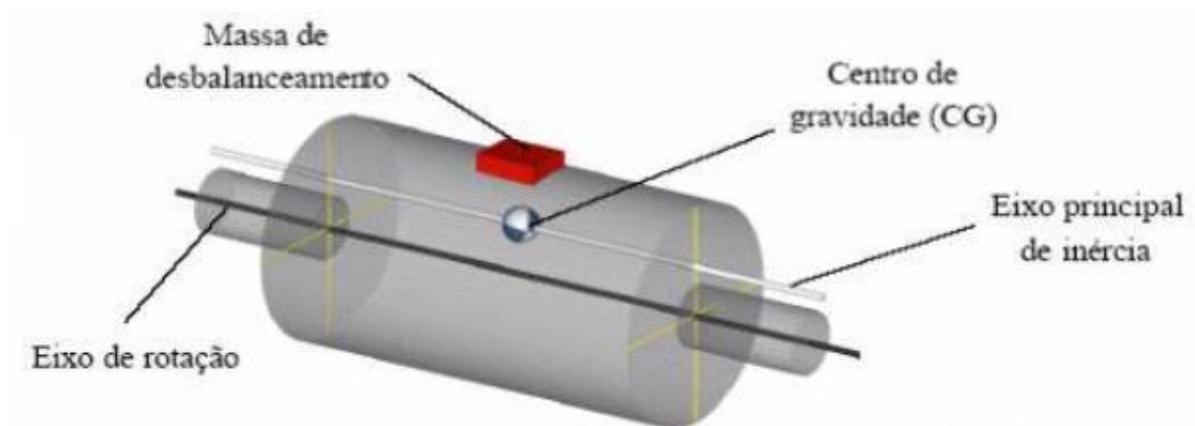
- Desbalanceamento estático;
- Binário de desbalanceamento;

- Desbalanceamento semi-estático;
- Desbalanceamento dinâmico.

2.7.1 Desbalanceamento estático

Segundo Sousa (2005) o desbalanceamento estático ocorre quando uma massa age no mesmo plano radial em que se encontra o centro de gravidade, de maneira a deslocar o eixo principal de inércia paralelamente ao eixo de rotação, conforme Figura 9.

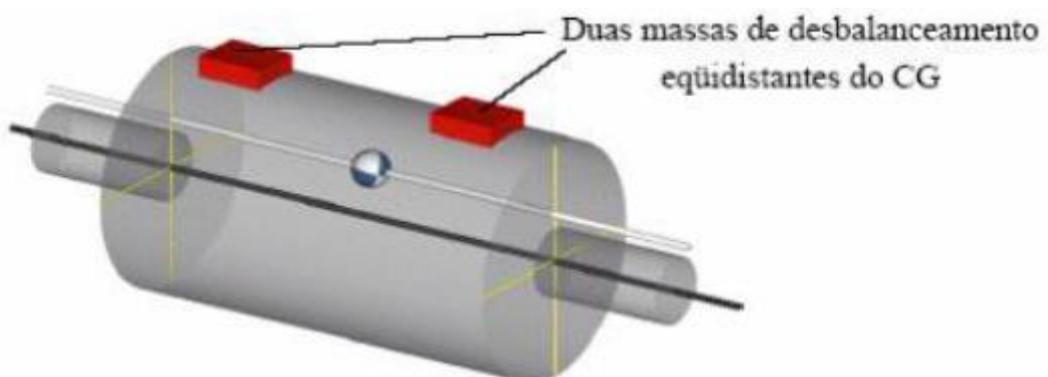
Figura 10 - Uma massa atuando no plano CG.



Fonte: Sousa (2005).

Segundo Sousa (2005) o desbalanceamento estático também pode ser enquadrado quando duas massas equidistantes em relação ao centro de gravidade e sem defasagem entre elas correspondem a uma massa atuando no plano do centro de gravidade como mostra a Figura 10.

Figura 11 - Duas massas equidistantes.

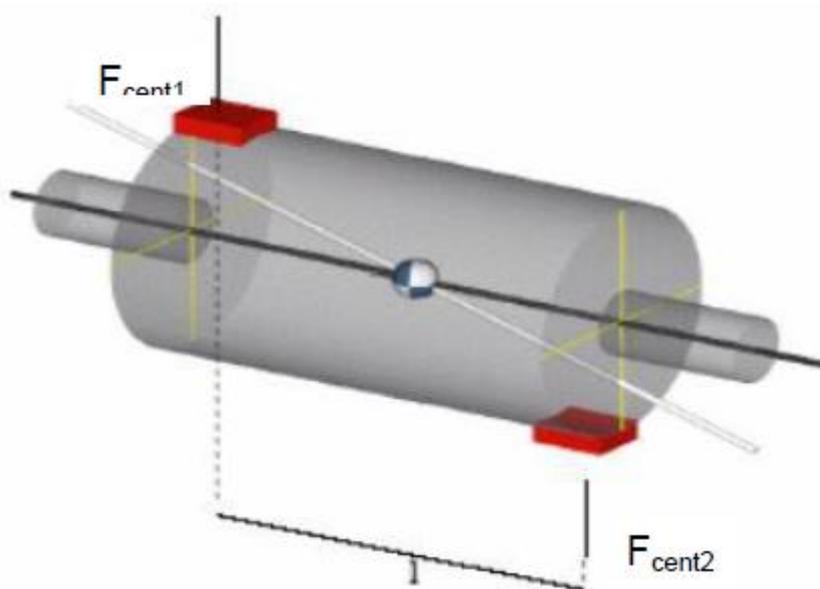


Fonte: Sousa (2005).

2.7.2 Binário de desbalanceamento

De acordo com Sousa (2005) o binário de desbalanceamento é quando duas massas excêntricas iguais e equidistantes do centro de gravidade estão defasadas em 180° , conforme Figura 11 abaixo, onde o eixo principal de inércia é rotacionado em torno do centro de gravidade. As duas massas geram forças centrífugas opostas com módulo igual que se anulam, porém devido não estarem atuando no mesmo eixo geram um momento resultante que provoca a vibração.

Figura 12 - Binário de desbalanceamento.

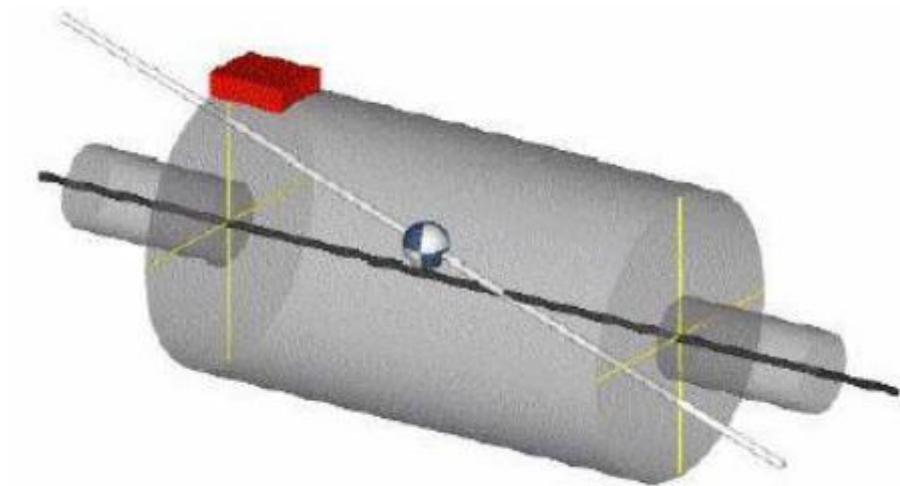


Fonte: Sousa (2005).

2.7.3 Desbalanceamento semi-estático

De acordo com Sousa (2005) o desbalanceamento semi-estático também chamado de desbalanceamento quase-estático ocorre quando o eixo principal de inércia cruza o eixo de rotação em um ponto diferente do centro de gravidade, conforme Figura 12.

Figura 13 - Desbalanceamento quase-estático.

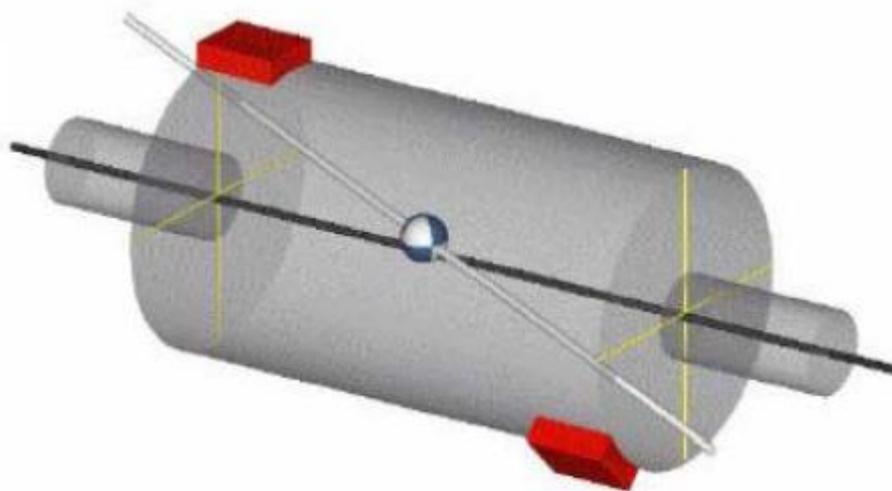


Fonte: Sousa (2005).

2.7.4 Desbalanceamento dinâmico

De acordo com Sousa (2005) o desbalanceamento dinâmico é o tipo mais comum dos desbalanceamentos ocorre pelo fato do eixo principal de inércia não cruzar o eixo de rotação, isto é devido as massas estarem defasadas em ângulo diferente de 180° , conforme a Figura 13.

Figura 14 - Desbalanceamento dinâmico.



Fonte: Sousa (2005).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este terceiro capítulo tem por objetivo abordar os aspectos da manutenção nos equipamentos da sinterização de uma usina integrada onde serão descritos os materiais utilizados e a metodologia empregada para reduzir os números de paradas não programadas.

3.1 Delineamento da Pesquisa

Neste trabalho será feito um estudo de caso de forma exploratória, aplicada e intervencionista para melhorar a disponibilidade dos equipamentos da sinterização a fim de concluir se os métodos e materiais foram apropriados.

3.2 Coleta e Análise dos Dados

Natureza dos dados:

- Qualitativa;
- Quantitativa.

Os materiais utilizados na manutenção para redução dos valores de vibrações para garantir a disponibilidade da planta:

- Aparelho de balanceamento nk600;
- Sensor óptico;
- Sensor de vibração magnético (acelerômetro);
- Base magnética;
- Medidor de vibração minipa mva-400;
- Balança de precisão.

A Figura 14 apresenta os instrumentos utilizados para o balanceamento em campo.

Os exaustores A e B estão localizados na sinterização na planta de uma usina siderúrgica posicionados após o precipitador eletrostático com o objetivo de sugar o ar para obtenção do sínter.

Figura 15 - Instrumentos para balanceamento em campo.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Os métodos utilizados são:

- Adicionado à fita reflexiva adesiva no eixo que possibilita a leitura da rotação do equipamento através do sensor óptico;
- Conectado o sensor óptico e sensor de vibração no aparelho;
- Iniciar o teste do equipamento;
- Coletar valores de vibrações, fases e rotação;
- Salvar dados;
- Desligar exaustor;
- Realizar o bloqueio do equipamento;
- Realizar o cálculo para definir o peso da massa de correção e posição da massa através dos valores coletados (nessa condição não é adicionado massa de teste);
- Em alguns casos temos mostradores digitais para auxiliar a leitura.
- Realizar o cálculo através da densidade do aço e definir dimensões da massa;

- Cortar massa com auxílio de maçarico e esmerilhadeira elétrica;
- Abrir janelas de visitas com auxílio de chave combinada;
- Posicionar rotor com auxílio de ponte rolante no local onde será fixada a massa de correção;
- Realizar a soldagem da massa de correção com eletrodo revestido (considerar peso do eletrodo no cálculo da massa);
- Fechar janelas de visitas;
- Retirar bloqueio elétrico;
- Ligar exaustor;
- Verificar se os valores de vibrações ficaram dentro dos parâmetros toleráveis para o equipamento, caso não esteja satisfatório repetir todo o processo descrito acima.

Metodologia MASP:

Segundo Blog da qualidade (2012) o MASP (Método de Análise e Solução de Problemas) é um processo de melhoria que apresenta oito etapas, sendo que cada uma delas contribui para a identificação dos problemas e a elaboração de ações corretivas e preventivas para eliminá-los ou minimizá-los. A seguir estão as oito etapas:

- Problema: identificar o problema;
- Observação: analisar as características do problema;
- Análise: determinar as causas principais;
- Plano de ação: conceber um plano para eliminar as causas;
- Ação: agir para eliminar as causas;
- Verificação: confirmar a eficácia da ação;
- Padronização: eliminar definitivamente as causas;
- Conclusão: recapturar as atividades desenvolvidas e planejar para o futuro.

A Tabela 1 apresenta a descrição das oito etapas do MASP.

Tabela 1 – Descrição das etapas do MASP.

ETAPA	DESCRIÇÃO
ETAPA 1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	Escolha do problema
	Histórico do problema
	Mostrar perdas atuais e ganhos viáveis
	Fazer a análise de pareto (demonstra a frequência das ocorrências (de maior para menor) através de gráfico)
	Nomear responsáveis
ETAPA 2 OBSERVAÇÃO	Descoberta das características do problema através de coleta de dados e observação do local
	Cronograma, orçamento e meta.
ETAPA 3 ANÁLISE	Definição das causas influentes
	Escolha das causas mais prováveis (hipóteses)
	Análise das causas mais prováveis (verificação das hipóteses)
ETAPA 4 PLANO DE AÇÃO	Elaboração da estratégia de ação
	Elaboração do plano de ação para o bloqueio e revisão do cronograma e orçamento final
ETAPA 5 AÇÃO	Treinamento
	Execução da ação
ETAPA 6 VERIFICAÇÃO	Comparação dos resultados
	Listagem dos efeitos secundários
	Verificação da continuidade ou não do problema
ETAPA 7 PADRONIZAÇÃO	Elaboração ou alteração do padrão
	Comunicação
	Educação e treinamento
	Acompanhamento da utilização do padrão
ETAPA 8 CONCLUSÃO	Relação dos problemas remanescentes
	Planejamento do ataque aos problemas remanescentes
	Reflexão

Fonte: <https://blogdaqualidade.com.br/masp-metodo-de-analise-e-solucao-de-problemas-parte-1/>.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Identificação

De acordo com material técnico da empresa a chapa de desgaste, carcaça e o rotor têm apresentado desgaste abrasivo acentuado pela passagem de material particulado devido à ineficiência dos precipitadores eletrostáticos A e B, conforme Figura 15 e Figura 16, o que tem reduzido a consideravelmente a vida útil do conjunto. Atualmente, é necessário realizar um balanceamento em curto intervalo e tempo. A figura 17 mostra as massas de correções originadas do balanceamento em campo no rotor do exaustor. O procedimento utilizado determina executar o balanceamento em emergência com uma vibração de no mínimo 6mm/s, e o desarme ocorre com 9mm/s.

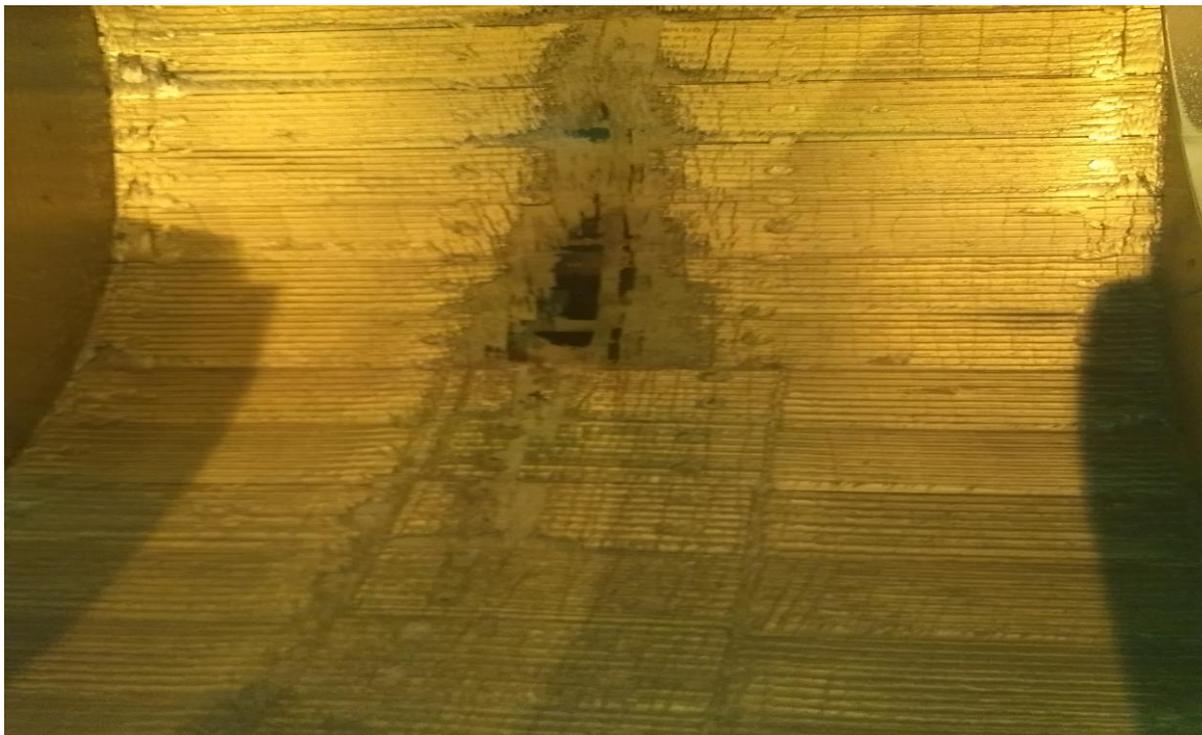
De acordo com a ISO 10816 estes valores encontram-se na faixa admissível, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de vibração x potência do equipamento, segundo norma vigente.

NORMA ISO 10816 – Preditec Engenharia de Manutenção				
Critérios para julgamento de estado de máquinas				
NÍVEL DE VIBRAÇÃO (mm/s)	ATÉ 20CV	DE 20CV ATÉ 100CV	➤ 100CV BASE RÍGIDA	➤ 100CV BASE FLEXÍVEL
0,28	BOM	BOM	BOM	BOM
0,45				
0,71				
1,12	ADEQUADO	ADEQUADO	ADEQUADO	ADEQUADO
1,8				
2,8	ADMISSÍVEL	ADMISSÍVEL	ADMISSÍVEL	ADEQUADO
4,5				
7,1	INADMISSÍVEL	INADMISSÍVEL	ADMISSÍVEL	ADMISSÍVEL
11,2			INADMISSÍVEL	INADMISSÍVEL
18				
28				
45			INADMISSÍVEL	INADMISSÍVEL

Fonte: <http://www.prediteceng.com.br/balanceamento-dinamico>, modificado.

Figura 16 - Desgaste da carcaça.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Figura 17 - Desgaste do rotor.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Figura 18 - Massas de correções de balanceamento no rotor do exaustor.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

4.2 Observação

De acordo com material técnico da empresa a máquina de sinterização com 292 m² de área efetiva entrou em operação em 1986 com produção nominal de 427 t/h. O sistema de exaustão é composto por dois exaustores de vazão nominal de 16700 m³/min cada e dois precipitadores eletrostáticos modelo 2/M/0,28/CA/2C/4,5x14,09/0,5/46 da Mikropul Ducon.

Em 1998 a produção da máquina de sínter foi aumentada em 22%. A largura da máquina de sinterização foi aumentada em 12% e a vazão de exaustão passou de 16700 m³/min para 17300 m³/min.

Em 2005 foi implantado o HPS inserindo material micropelotizado na mistura de Sinter. No início de operação do HPS a porcentagem de pellet feed passou-se de 17% para 40%. Ao longo dos anos esta participação diminuiu. Em 2013 este valor

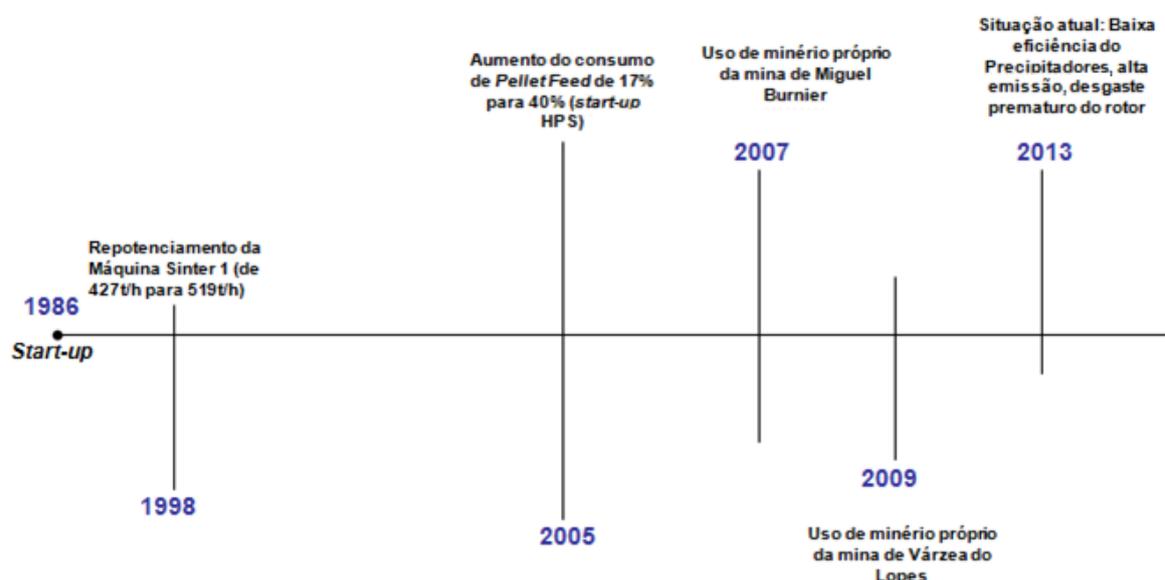
voltou a cerca de 40% com tendência a aumentar a 44%. (pellet feed $\leq 0,150\text{mm}$ / sinter feed $>0,150\text{mm}$ e $<6,35\text{mm}$).

Em novembro de 2007 houve alterações significativas na matéria prima utilizada com entrada de material proveniente da mina de Miguel Burnier.

Em novembro de 2009 houve alterações significativas na matéria prima utilizada com entrada de material proveniente da mina de Várzea dos Lopes.

A Figura 18 apresenta a linha de alterações no processo da sinterização.

Figura 19 - Linha de alterações no processo.



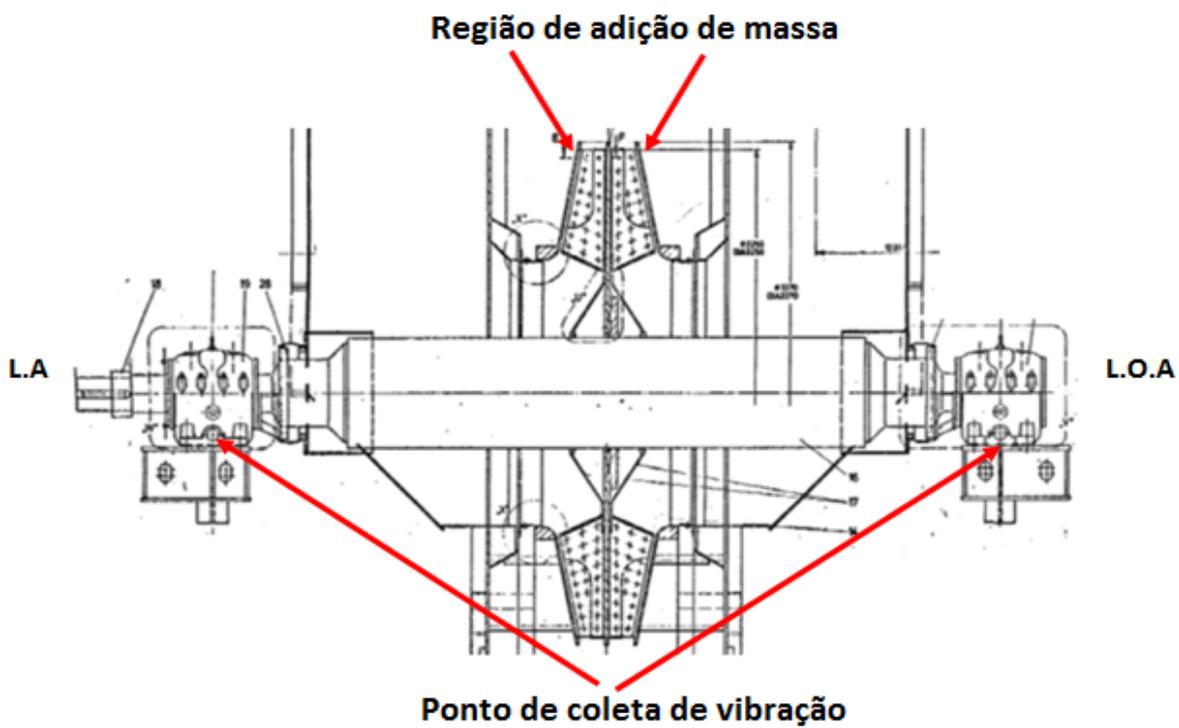
Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Particularidades dos exaustores A e B da sinterização:

- Rotação: 1200 rpm;
- Peso do rotor: 16000 kg;
- Sensibilidade: 0,0035 x 70%;
- Atraso: 130°;
- Sentido de rotação: horário;
- Quantidade de pás: 20;
- Vazão nominal original: 16700 m³/min;
- Distância entre paletas: 18°.

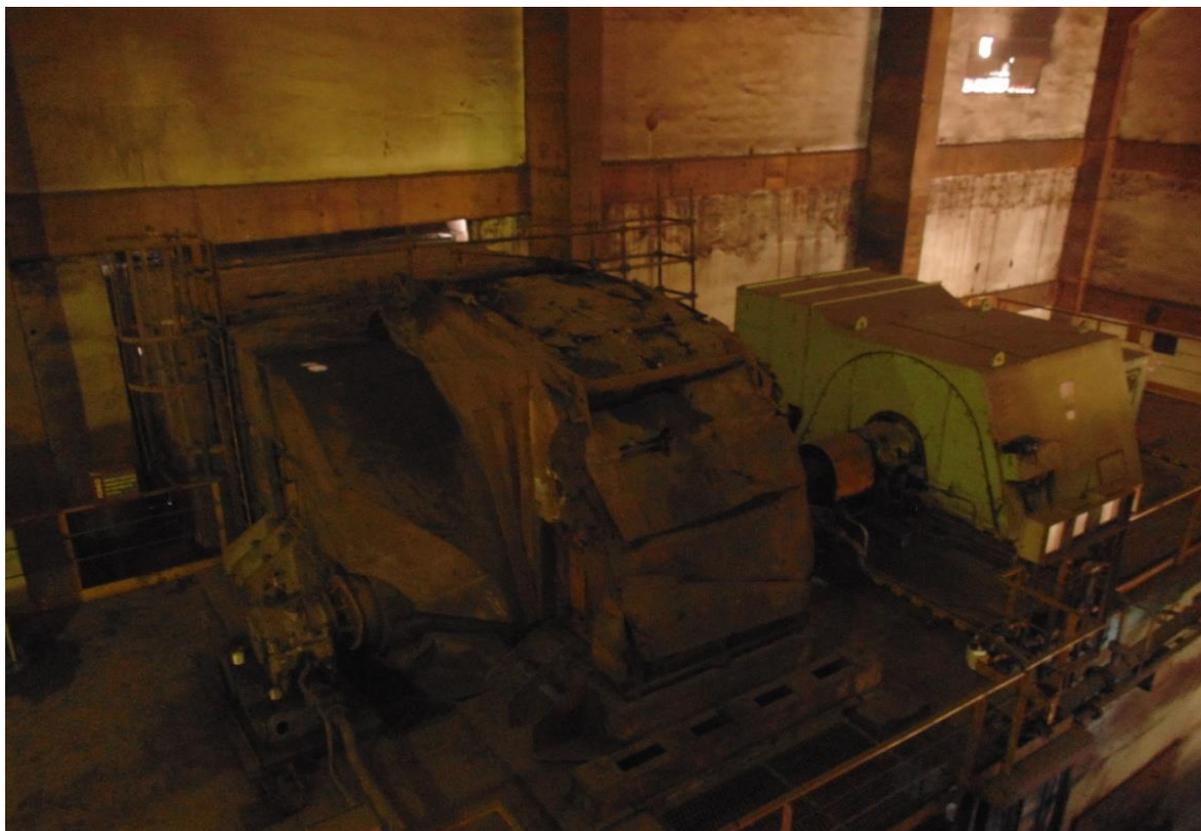
A Figura 19 apresenta o desenho mecânico modificado do rotor e a Figura 20 apresenta a vista externa do exaustor da sinterização.

Figura 20 - Desenho do rotor.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Figura 21 - Exaustor da sinterização.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

A Tabela 3 a seguir apresenta os dados de projeto dos precipitadores eletrostáticos A e B da sinterização.

Tabela 3 - Dados de projeto dos precipitadores eletrostáticos.

Item Projeto	Unidade	PEA/PEB
Peso equipamento	t	588
Nº de câmaras		1
Nº de campos por câmara		2
Área de coleta	[m ²]	11.666
SCA – Área específica de coleta	[m ² /(m ³ /h)]	40,46
Altura eletiva dos campos	[mm]	14.090
Comprimento efetivo dos campos	[mm]	4.500
Largura efetiva dos campos	[mm]	12.880
Número de placas por campo	nr	846
Altura da placa	[mm]	14.270
Largura da placa	[mm]	480
Número de- eletrodos por campo	nr	3.312
Tipo do eletrodo		Fita dentada aço inox
Comprimento do eletrodo	[mm]	3.315
Espaçamento entre eletrodos	mm	400
Número de transformadores	nr	1 por campo
Área efetiva de coleta por campo	[m ²]	4.032
Área efetiva de coleta por câmara	[m ²]	8.064
Tempo de retenção	[s]	5,85

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

A Figura 21 apresenta a vista externa do precipitador eletrostático da sinter.

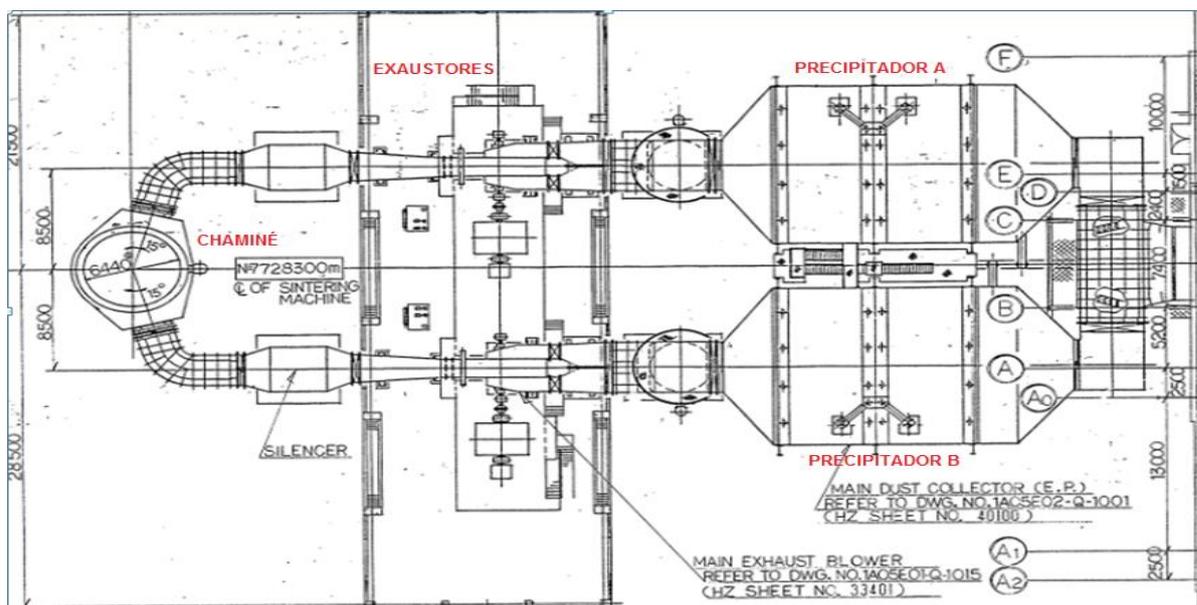
Figura 22 - Vista externa do precipitador.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

A Figura 22 apresenta o layout dos precipitadores, exaustores e chaminé.

Figura 23 - Layout dos precipitadores, exaustores e chaminé.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

4.3 Análise

Conforme análise realizada por colaboradores da empresa para determinar as condições atuais a fim de determinar as possíveis causas da baixa eficiência dos precipitadores, a inspeção apontou os seguintes pontos de deficiência:

- Estrutura do precipitador com pontos de corrosão acentuados;
- Duto de entrada com pontos de corrosão na parte inferior;
- Placas defletoras, juntas de expansão e placas direcionadoras do fluxo com elevado grau de desgaste;
- Sistema de coleta: quantidade considerável de placas empenadas e desalinhadas nos campos;
- Acúmulo de pó nas placas por deficiência de limpeza;
- Sistema de batimento de coleta: eixo com desgaste acentuado nos dois campos;
- Sistema de emissão: eletrodos quebrados, quadros dos eletrodos desalinhados;
- Sistema de batimento de emissão: conjunto de acionamento desativado por desgaste estrutural do conjunto;
- Derramamento de material por trinca no duto principal na entrada do precipitador;
- Entradas de ar falso nas pernas de descarga do duto principal, no sistema de transporte e queda de material por furo no duto de entrada;
- Válvulas duplo cone com derramamento de material;
- Válvulas duplo cone com fechamento deficiente;
- Tampas das válvulas duplo cone com grande entrada de ar por falta de fechamento adequado, falhas de funcionamento no acionamento em aproximadamente 40% das válvulas;
- Cones com acentuado desgaste causando entrada de ar;
- Balão duplo de descarga do sistema de transporte com válvulas borboletas dando muita passagem, causando furos constantes das gargantas e entrada de ar falso.

4.4 Plano de ação

Programar paradas de manutenções para sanar os problemas apontados pela inspeção a fim de melhorar a eficiência dos precipitadores e sistema de exaustão, os planos de manutenções seguem na Tabela 4:

Tabela 4 – Planos de manutenções.

O que?	Quem?	Quando?
Remover os pontos de corrosão acentuado da estrutura dos precipitadores;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Montar reforço com chapa na estrutura dos precipitadores;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Montar reforço estrutural no duto de entrada na parte inferior;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Reparar e trocar as partes danificadas nas placas defletoras e direcionais;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Trocar junta de expansão;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Realizar o alinhamento e trocar as placas empenadas do sistema de coleta;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Restabelecer o sistema de martelamento de placas;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Trocar eixos do sistema de batimento de coleta;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Trocar eletrodos danificados e alinhar quadros dos eletrodos do sistema de emissão;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Restabelecer o conjunto de acionamento dos martelos de batimentos dos eletrodos e placas defletoras;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Retirar trincas do duto principal e soldar chapa sobreposta;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Soldar chapas sobrepostas para retirar a entrada de ar nas pernas de descarga do duto principal.	Equipe de manutenção	Junho 2018
Trocar e ajustar os cones dos dampers das válvulas de duplo cone;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Trocar cilindros pneumáticos, válvulas pneumáticas e rolamentos dos acionamentos dos dampers;	Equipe de manutenção	Junho 2018
Trocar válvulas borboletas do balão duplo de descarga do sistema de transporte.	Equipe de manutenção	Junho 2018

4.5 Ação

Seguem na Tabela 5 as ações realizadas através do plano de ação para sanar os problemas apontados pela inspeção a fim de melhorar a eficiência dos precipitadores e sistema de exaustão.

Tabela 5 – Ações da manutenção.

O que?	Status
Remover os pontos de corrosão acentuado da estrutura dos precipitadores;	Realizado
Montar reforço com chapa na estrutura dos precipitadores;	Realizado
Montar reforço estrutural no duto de entrada na parte inferior;	Realizado
Reparar e trocar as partes danificadas nas placas defletoras e direcionais;	Realizado
Trocar junta de expansão;	Realizado
Realizar o alinhamento e trocar as placas empenadas do sistema de coleta;	Realizado
Restabelecer o sistema de martelamento de placas;	Realizado
Trocar eixos do sistema de batimento de coleta;	Realizado
Trocar eletrodos danificados e alinhar quadros dos eletrodos do sistema de emissão;	Realizado
Restabelecer o conjunto de acionamento dos martelos de batimentos dos eletrodos e placas defletoras;	Realizado
Retirar trincas do duto principal e soldar chapa sobreposta;	Realizado
Soldar chapas sobrepostas para retirar a entrada de ar nas pernas de descarga do duto principal.	Realizado
Trocar e ajustar os cones dos dampers das válvulas de duplo cone;	Realizado
Trocar cilindros pneumáticos, válvulas pneumáticas e rolamentos dos acionamentos dos dampers;	Realizado
Trocar válvulas borboletas do balão duplo de descarga do sistema de transporte.	Realizado

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

4.6 Verificação

De acordo com base nos relatórios de balanceamento realizados na empresa verificou-se uma redução significativa nos números de intervenções para correção de desbalanceamento. A Tabela 6, Tabela 7, Gráfico 1 e Gráfico 2, mostram um comparativo dessa redução em um intervalo de tempo.

Tabela 6 - Intervenções 2018.

Controle de intervenções 2018					
Mês	Equipamento	Dia			
Janeiro	Ex A	16	27	31	x
	Ex B	27	x	x	x
Fevereiro	Ex A	7	16	20	21
	Ex B	15	20	x	x
Março	Ex A	7	14	22	27
	Ex B	x	x	x	x
Abril	Ex A	1	10	12	30
	Ex B	30	x	x	x
Maió	Ex A	10	22	31	x
	Ex B	15	x	x	x
Junho	Ex A	28	x	x	x
	Ex B	7	x	x	x
Julho	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	25	x	x	x
Agosto	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Setembro	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Outubro	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Novembro	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Dezembro	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x

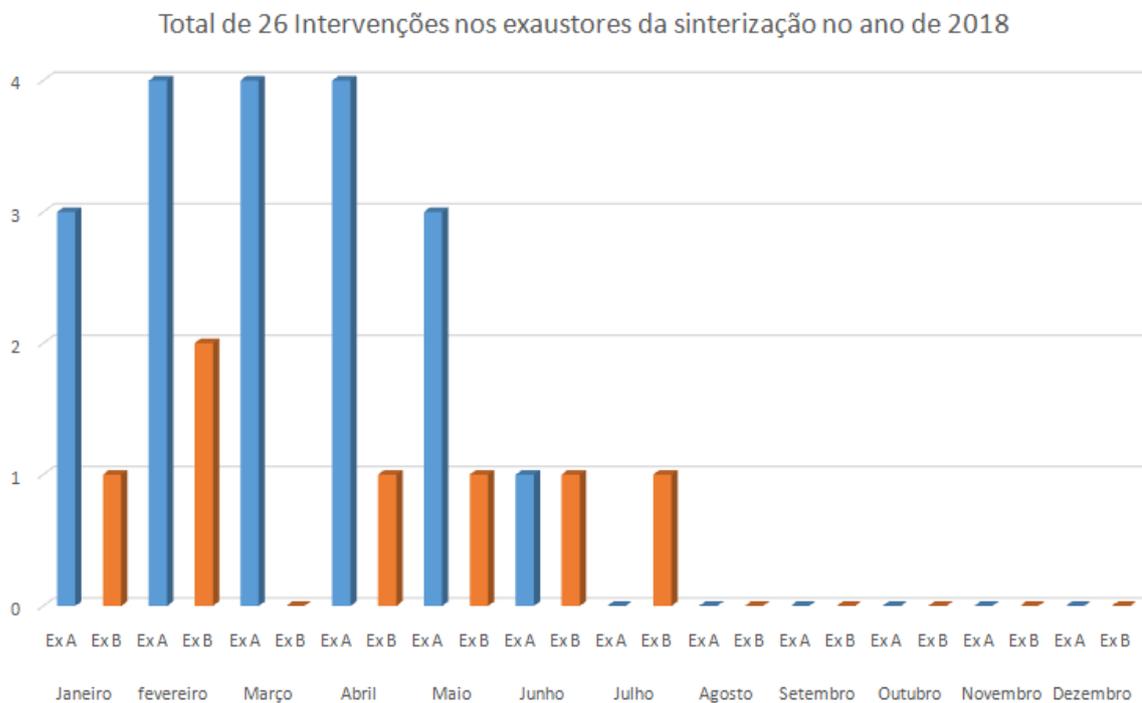
Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Tabela 7 - Intervenções até outubro de 2019.

Controle de intervenções 2019					
Mês	Equipamento	Dia			
Janeiro	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Fevereiro	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Março	Ex A	1	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Abril	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Mai	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Junho	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Julho	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Agosto	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Setembro	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x
Outubro	Ex A	x	x	x	x
	Ex B	x	x	x	x

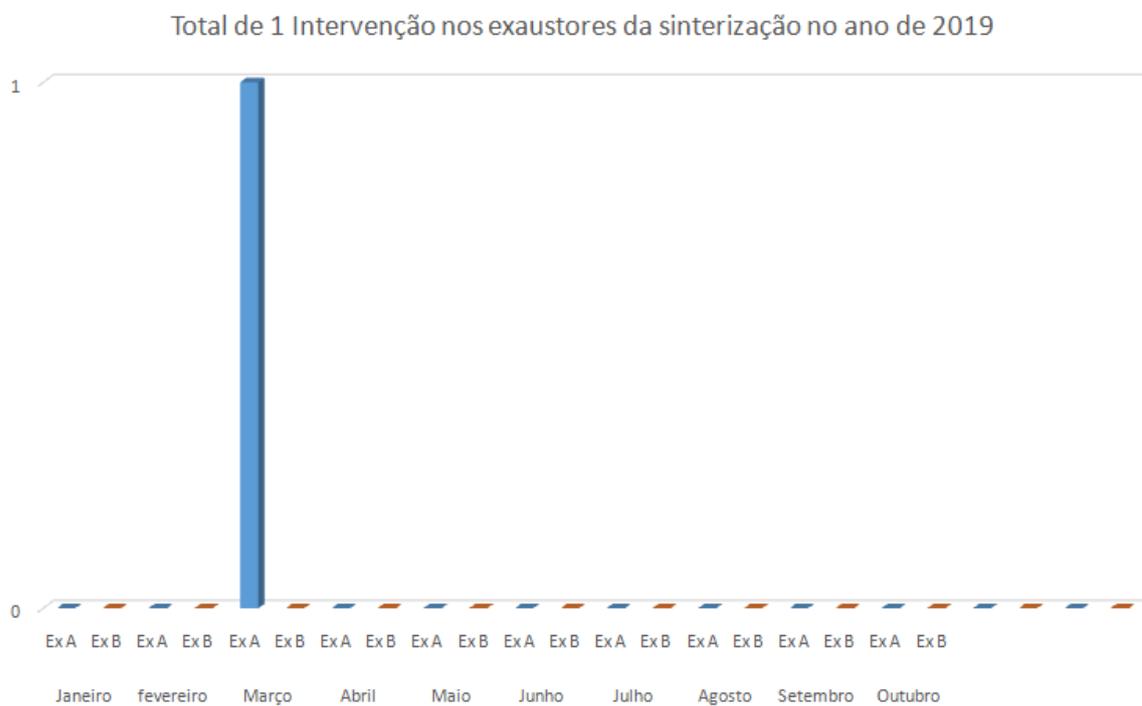
Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Gráfico 1- Intervenções nos exaustores no ano de 2018.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Gráfico 2 - Intervenção nos exaustores no ano de 2019.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

4.7. Padronização

De acordo com colaboradores da empresa e material técnico da empresa a padronização do procedimento de balanceamento teve como objetivo de reduzir o tempo de balanceamento e os números de partidas nos rotores dos exaustores de sinterização.

Após a instalação do instrumento no equipamento, conforme Figura 23, é conferido o posicionamento da tarja refletiva e coletado os valores de rotação, vibração e fase, conforme Figura 24, e em seguida calculado a massa de correção e a sua posição, evitando assim utilizar a massa de teste para referência de posição e peso para corrigir os níveis de vibrações.

Figura 24 - Posicionamento do instrumento durante balanceamento.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Figura 25 - Leitura de coleta pelo instrumento de balanceamento.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Exemplo, conforme Figura 24, cálculo realizado após a primeira leitura:

- Massa de correção: $4.32\text{mm/s} / 0.0035 \times 60\%$ (sensibilidade) = 740g;
- Ângulo de aplicação da massa de correção em relação à fita:
 $226^\circ - 130^\circ$ (ângulo de defasagem) = 96° .

Após aplicação da massa é realizada uma partida para conferir se os valores de vibrações estão satisfatórios ao equipamento e em seguida liberado a operação, caso não esteja, seguir o procedimento de balanceamento usando a massa de correção calculada como massa de teste.

4.8 Reflexão

Embora a reforma dos precipitadores existentes tenha sido apresentada como alternativa, ela depende de uma série de fatores não conhecidos tais como integridade do invólucro, durabilidade das partes reaproveitadas pelos próximos 20-30 anos e, principalmente, estratégia de parada e obras, pois os novos precipitadores seriam implementados primeiramente para posterior reforma dos existentes. Neste caso seriam necessárias duas paradas anuais para não haver impacto produtivo, somando-se a dificuldade de execução da reforma pelo alcance dos equipamentos.

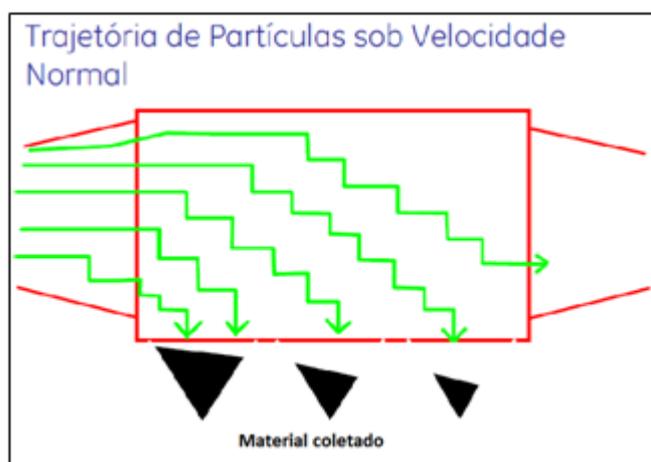
A alternativa de construção de dois novos precipitadores vai ao encontro da solução proposta. Esta solução não considera a reutilização dos precipitadores

existentes e não oferece riscos de paradas adicionais, conforme Figura 27 e Figura 28.

Com os novos precipitadores, o risco terá sua criticidade diminuída, uma vez que o desgaste dos rotores será menor devido à diminuição de material particulado incidente.

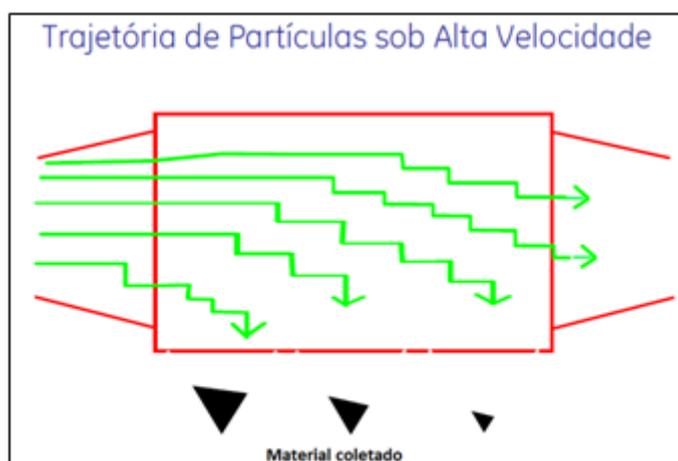
A modificação mais relevante que permitirá o incremento na captação de material particulado é que os novos precipitadores serão dotados de maior área de seção reta, desta forma diminuindo a velocidade do gás passante e favorecendo a captação deste material numa taxa superior à atual. O tempo de retenção das partículas aumentará em cerca de 200%. A Figura 25 e Figura 26 apresentam o comportamento do material particulado com velocidade normal e alta.

Figura 26 - Comportamento do material particulado com velocidade normal.



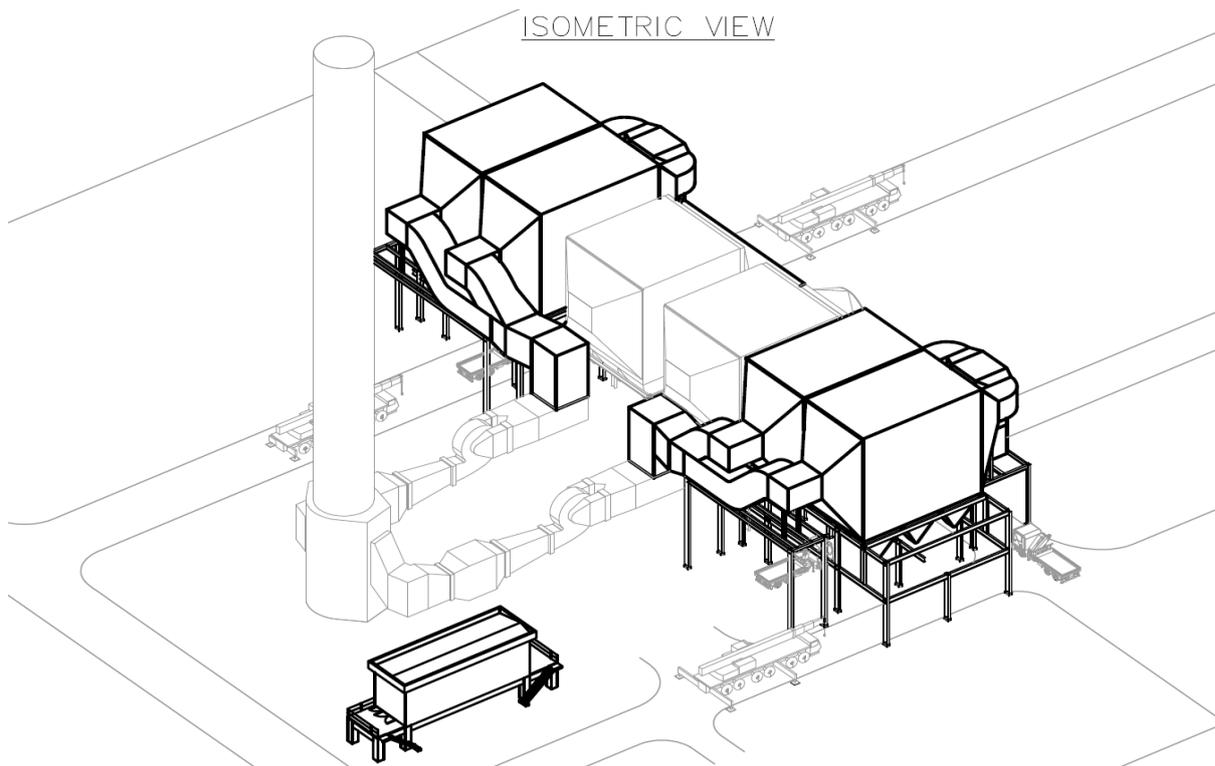
Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Figura 27 - Comportamento do material particulado com alta velocidade.



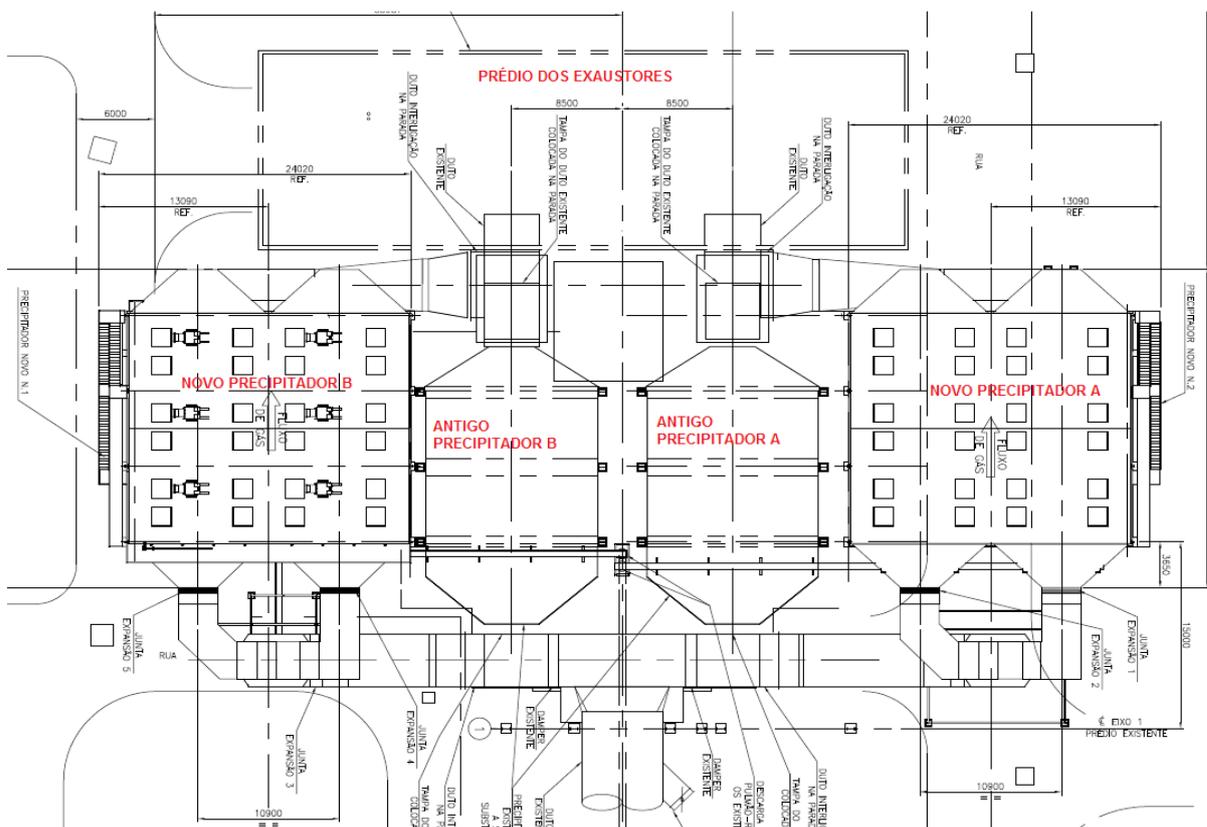
Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Figura 28 - Vista isométrica dos novos precipitadores.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Figura 29 - Layout proposto.



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

5 CONCLUSÕES

A proposta de solucionar os problemas relacionados ao desgaste dos rotores de sinterização teve como intuito eliminar as paradas não programadas nos exaustores de sinterização e reduzir conseqüentemente a emissão de poluentes na atmosfera.

Durante a inspeção pode ser observado que ao solucionar os problemas dos equipamentos periféricos e interno dos precipitadores A e B da sinterização houve um retorno significativo para a eficiência do sistema de exaustão tendo uma redução significativa nas paradas não programadas, tais problemas como: falta de placas de eletrodos, placas e eletrodos desalinhados, sistema de batimentos fora de operação, acúmulo de pó do duto principal, ineficiência nos dampers de isolamento e entradas de ar falso no sistema nas válvulas de duplo cone, balões de descarga dos precipitadores, pernas de vento, duto principal, tampas e janelas de visitas do precepitador.

Sanados os problemas descritos no trabalho obteve um resultado satisfatório reduzindo as paradas não programadas de balanceamento relacionado aos desgastes prematuros dos rotores dos exaustores, porém os precipitadores A e B da sinterização estão em fim de vida útil com isso será necessário um estudo aprofundado e a instalação de novos equipamentos para conseguir atender as necessidades da planta e legislação ambiental vigente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Lucínio Preza de. **Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado**. São Paulo: Ed. Esev, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

Blog da qualidade. **MASP**. 2012. Disponível em: <https://blogdaqualidade.com.br/masp-metodo-de-analise-e-solucao-de-problemas-parte-1/>. Acesso em 29 de outubro de 2019.

CBC Industrias Pesadas S.A. – **Catalogo de Equipamentos de Controle Ambiental**, 1989.

FLSMIDHT. 2009. Disponível em: <http://www.flsmidthminerals.com>. Acesso em 25 de setembro 2019, 20:00.

GÓZ, R. D.; SILVA, T. C. (2013). **R&T Análise de vibrações e balanceamento**.

KARDEC, A.; NASCIF, N. **Manutenção Função Estratégica**. 2.ed.3. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

LISBOA, Henrique de Melo; SCHIRMER, Waldir Nagel. **Controle da Poluição Atmosférica**: Metodologia de Controle da Poluição Atmosférica. Apostila, 2007.

LUCATELLI, M. V. **Proposta de aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Equipamentos Medico-Hospitalar**. 2002. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MOURÃO, M. B., et al. **Introdução à Siderurgia**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007.

OLIVEIRA, Carmelita de. **IMPÁCTOS AMBIENTAIS DERIVADOS DE ATIVIDADES INDUSTRIAIS: O CASO DO CILO IV**. 2006. 167 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

PARKER, K. R. **Applied electrostatic precipitation**, Champman & Hall, 1997.

PARKER, K. R, **Electrical operation of electrostatic precipitators**, Institution of Electrical Engineers, 2003.

PORLE, K.; FRANCIS, S. L.; BRADBURN, K.M. **Electrostatic precipitators for industrial applications**. Bruxelas: REHVA - Federation of European Heating and Airconditioning Associations, 2005.

Preditec. **Balanceamento**. Disponível em: <http://www.prediteceng.com.br/balanceamento-dinamico>. Acesso em 06 de novembro de 2019.

RAMIREZ, E. F. F.; CALDAS, E. C.; SANTOS Jr. P. R. **Manual Hospitalar de Manutenção Preventiva**. Londrina: Editora UEL, 2002.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos processos siderúrgicos**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.

SIMIÃO, Juliana. **GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS EM UMA EMPRESA DE USINAGEM SOBRE O ENFOQUE DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA**. 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

SOUSA, W. dos S. **Desenvolvimento de um Sistema aplicativo em LabVIEW para o monitoramento de máquinas rotativas com um módulo de balanceamento de rotores**. Universidade Federal do Pará, 2005.

WOWK, V. **Machinery Vibration – Balancing**. McGraw – Hill, 1995.