

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E TRANSPORTES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

**CONCEITOS DE MANUTENÇÃO *SMART* APLICADOS AO
PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO DE UMA MÁQUINA DE
TRITURAÇÃO DE SUCATA**

GLADYS MILAGROS ENCISO CONDENA

**Orientador: JOSE LUIS DUARTE
RIBEIRO**

PORTO ALEGRE
ABRIL/2023

CONCEITOS DE MANUTENÇÃO *SMART* APLICADOS AO PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO DE UMA MÁQUINA DE TRITURAÇÃO DE SUCATA

Gladys Milagros Enciso Condena ¹- mienco92@gmail.com

Departamento de Engenharia de Produção e Transportes da Escola de Engenharia - DEPROT,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS ¹

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias, algumas atividades passaram a ser parte do passado, outras estão em processo de transição e muitas mudaram para facilitar a rotina diária. Nas indústrias, as inovações e as novas tecnologias aplicadas em diferentes cenários vêm propiciando avanços significativos através da conexão entre o mundo físico e virtual. Neste cenário, as empresas que apresentam maior maturidade na aplicação dos conceitos da indústria 4.0 costumam obter vantagem competitiva (Frank et al., 2019).

Os setores de manutenção de empresas de manufatura também estão respondendo a essas mudanças por meio de implementação de novas tecnologias e investimento em novas habilidades com o intuito de reduzir os tempos de paradas, custos de manutenção e melhorar a produtividade dos equipamentos (Roy et al., 2016). Assim, as indústrias de manufatura de todo mundo estão passando pela chamada transição digital, criando oportunidades para uma reorganização e atualizando suas estratégias de manutenção de acordo com o conceito de Manutenção *Smart*, traduzido para o português como Manutenção Inteligente (Lundgren C., Bokrantz J. and Skoogh A., 2021b).

Para Bokrantz et al. (2020c), a Manutenção *Smart* pode ser definida como um *design* organizacional que visa gerenciar a manutenção de fábricas em ambientes com tecnologias digitais difundidas. Além disso, a Manutenção *Smart* incorpora um conceito multidimensional de inter-relação e apoio mútuo baseado em quatro dimensões: tomada de decisão orientada por dados, recursos de capital humano, integração interna e integração externa (Bokrantz et al., 2020a).

Conforme Gopalakrishnan et al. (2019), os avanços nas empresas digitalizadas exigem que as práticas tradicionais de manutenção se transformem na lógica de Manutenção *Smart*, atendendo as necessidades dinâmicas de manutenção. O

planejamento da manutenção baseado em fatos, novos procedimentos de trabalho inteligentes e perspectiva de sistemas são temas dominantes e altamente propensos a influenciar o ambiente interno das organizações (Bokrantz et al., 2017).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo reduzir tempos de parada e custos de manutenção através do uso de conceitos de indústria 4.0 e Manutenção *Smart* aplicados no planejamento de manutenção de equipamentos de grande porte da indústria siderúrgica. Além disso, este trabalho também almeja embasar futuros estudos nas empresas que estão passando por essa transição digitalizada e carecem de conhecimentos sobre o uso de procedimentos, ferramentas e tecnologias mais recentes aplicadas na manutenção (Velmurugan, S. Saravanasankar, S. Bathrinath, 2022).

Este trabalho envolveu uma revisão da literatura referente a conceitos e procedimentos de Manutenção *Smart* apropriados para equipamentos de grande porte da indústria siderúrgica, aplicação dos mesmos em um equipamento crítico de uma siderúrgica e avaliação dos resultados. O trabalho realizado pode servir de referência para gerentes de manutenção projetar e implementar estratégias de manutenção baseadas em conceitos da indústria 4.0, abrangendo aspectos tecnológicos, humanos e organizacionais (Bokrantz et al., 2020b)

Na seção 2, há uma revisão da literatura sobre Manutenção *Smart* e suas principais dimensões: tomada de decisão orientada por dados, recurso do capital humano, integração interna e integração externa. Além disso, será apresentado algumas aplicações de Manutenção *Smart* nas indústrias. Na seção 3, é apresentada a metodologia utilizada na aplicação dos conceitos e procedimentos de *Smart Maintenance* junto ao equipamento de grande porte da empresa siderúrgica. A seção 4 traz os resultados obtidos e discussões. A seção 5 conclui o artigo e apresenta limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Manutenção *Smart*

A performance dos equipamentos e a lucratividade das fábricas são dois indicadores que dependem diretamente de uma correta gestão de manutenção (Velmurugan, S. Saravanasankar, S. Bathrinath, 2022). Com a chegada da indústria 4.0, os setores de manutenção de muitas fábricas estão desenvolvendo e aplicando novas tecnologias para otimizar seus planos de manutenção, aumentar a produtividade e reduzir

os custos (Roy et al., 2016). A alta competitividade e os avanços tecnológicos nas indústrias exigem uma transformação das práticas tradicionais de manutenção para uma Manutenção *Smart* que atenda às necessidades dinâmicas de manutenção e aumente a produtividade por meio de tomadas de decisões orientadas por dados (Gopalakrishnan et al., 2019).

Assim, a Manutenção *Smart* é definida como um projeto organizacional que serve para gerenciar a manutenção de fábricas em ambientes com tecnologias digitais difundidas (Bokrantz et al., 2020c). Além disso, a Manutenção *Smart* possui um conceito multidimensional, constituído por quatro dimensões: tomada de decisão orientada por dados, recursos de capital humano, integração interna e integração externa (Bokrantz et al., 2020a). Ainda os autores sugerem aos gerentes de fábricas que a implementação das quatro dimensões deve ser realizada em conjunto, em vez de dedicar todos os recursos disponíveis na otimização de dimensões de forma individual, visto que essas quatro dimensões se complementam.

Segundo Bokrantz et al. (2020c), a Manutenção *Smart* precisa ser vista como base para o desenvolvimento de estratégias de manutenção de longo prazo, especialmente em nível gerencial com uma perspectiva mais integral, abrangendo não apenas novas tecnologias para tomada de decisões, mas também o papel dos humanos e das interações sociais.

Lundgren, Bokrantz, Skoogh (2021b) propõem um processo cíclico para estimular o desenvolvimento de estratégias das organizações de manutenção e apoiar a implementação da Manutenção *Smart*. Esse processo divide-se em seis etapas: realizar *benchmarking* usando um instrumento de medição de manutenção inteligente, definir metas claras alinhadas com as metas gerais da empresa como as metas individuais dos funcionários de manutenção, definir prioridade estratégica, planejamento de atividades-chave, realizar a implementação colocando em ação as atividades planejadas e acompanhar as atividades e efeitos associados. Com a importância da manutenção nas fábricas, é necessário adotar esse tipo de abordagem estratégica para o gerenciamento da manutenção (Bokrantz et al., 2020b). No entanto, existem muitas lacunas sobre o sistema de gerenciamento de Manutenção *Smart* devido à falta de conhecimento sobre as ferramentas e tecnologias mais recentes. (Velmurugan, Saravanasankar, Bathrinath, 2022).

2.2. Dimensões da Manutenção *Smart*

2.2.1. Tomada de decisão orientada por dados

Segundo Bokrantz et al. (2020b), a tomada de decisão orientada por dados é definida como “o grau em que as decisões são baseadas em dados”. Assim, a automação da decisão humana vai ganhando mais espaço por meio da manutenção eficaz e eficiente que surge de decisões orientadas pela coleta e análise de dados (internos e externos) de alta qualidade. Para alcançar esse patamar, os gerentes de manutenção precisam tomar decisões com base em dados confiáveis em tempo real, em vez de experiência e instinto (Salonen, Gopalakrishnan, 2021).

Em geral, as empresas de manufatura carecem de suporte para a tomada de decisão que é necessária para o planejamento das atividades de manutenção visando aumentar a produtividade (Gopalakrishnan et al., 2019). Estudos empíricos usando o método Delphi demonstraram que a tomada de decisão orientada por dados na manutenção é uma das principais práticas modernas para aumentar a produtividade (Bokrantz et al., 2017). Gopalakrishnan et al. (2019) propõem aos gerentes de manutenção, novas tecnologias como forma de suporte essencial a decisões dinâmicas e orientadas por dados para alcançar o planejamento de Manutenção *Smart*. Essas novas tecnologias envolvem *Internet of Things*, *Machine Learning*, conectividade rápida a Internet, etc.

Wang et al. (2016) afirmam que as empresas estão utilizando tecnologias como o *Big Data* - conjuntos de dados dinâmicos de alto volume- para obter informações exclusivas sobre ciclos de manutenção, formas de reduzir custos e permitir decisões de manutenção mais direcionadas. Além disso, a implementação da realidade aumentada e virtual permite a visualização de computação gráfica colocada no ambiente real e está sendo utilizada por várias empresas para suporte em treinamento de funcionários, simplificação de atividades de manutenção, facilitação do gerenciamento e controle de processos e ampliação dos limites da inovação (ELIA, 2016, YEW, 2016 *apud* Ghobakhloo, 2018).

Nesse sentido, a mineração de dados e a ampliação da capacidade de análise estão criando um novo ambiente digitalizado, promovido pela introdução das inovações tecnológicas da Indústria 4.0 que pode trazer grandes vantagens à gestão da Manutenção *Smart* garantindo confiabilidade nas tomadas de decisões por parte dos operadores (Silvestri et al., 2020).

2.2.2. Recurso do capital humano

De acordo com Bokrantz et al. (2020b), o recurso de capital humano é a capacidade construída com base em conhecimento individual, competências, habilidades e outras características, conhecidas por sua abreviatura no inglês KSAOs (*Knowledge, Skills, Abilities and Other characteristics*) que são atributos necessários para o desempenho relevante de um trabalho.

A dimensão de recursos de capital humano surgiu da divergência entre a tecnologia e as habilidades, o que ocasionou que os mantenedores desenvolvessem habilidades novas e altos níveis de competência. No entanto, elas estão mais escassas no mercado de trabalho (Bokrantz et al., 2020b). Os recursos do capital humano incluem habilidades genéricas como a comunicação e colaboração; e habilidades específicas, como a análise de dados (Lundgren, Bokrantz., Skoogh, 2021b).

Bokrantz et al., 2020c ressaltam uma conexão entre a tomada de decisão baseada em dados e os recursos de capital humano para aprimorar a Manutenção *Smart*. As habilidades analíticas dos operadores são necessárias para compreender como coletar e usar os dados, analisar dados e decidir quais ações tomar com base nos dados.

2.2.3. Integração interna

A integração interna corresponde à terceira dimensão da Manutenção *Smart* e é definida como o grau em que a função de manutenção é parte de um todo unificado e intraorganizacional, ou seja, como a manutenção se relaciona com a organização interna da empresa (Bokrantz et al., 2020b). Essa relação é marcada pela colaboração multifuncional e sincronização mais próxima entre a função de manutenção e o resto da organização (Bokrantz et al., 2020a).

Franciosi et al. (2020) apontam que a integração interna da manutenção em fábricas digitalizadas pode envolver a integração de muitas tecnologias diferentes, incluindo *software* e *hardware*. Portanto, é importante que exista uma estrutura para integrar digitalmente a manutenção em áreas de trabalho relevantes que permita a inclusão de várias tecnologias. Para Bokrantz et al. (2020c), a integração interna se manifesta na relação sem atrito de dados, informações, conhecimento e decisões, e estreita colaboração e sincronização entre os componentes intraorganizacionais.

Por outro lado, Lundgren, Bokrantz, Skoogh (2021b) afirmam que as estratégias de manutenção não se limitam apenas a um plano de combate a falhas de equipamentos, mas sim a uma perspectiva global para o desenvolvimento contínuo da organização da manutenção para prepará-la para as demandas da fabricação digitalizada. Dentre essa nova perspectiva, identificar os indicadores de desempenho de uma empresa é um fator-chave para a implementação da Manutenção *Smart*. Assim é importante acompanhar os indicadores de desempenho visando a “atratividade organizacional” ou “vantagem competitiva” e relacioná-las no papel da manutenção em toda a organização, especialmente com a área de produção, além de vincular esses indicadores de manutenção à visão e objetivos da empresa (Lundgren, Bokrantz, Skoogh, 2021a)

2.2.4. Integração externa

A quarta e última dimensão da Manutenção *Smart*, é a integração externa. Se entende por integração externa o “grau em que a função de manutenção é parte de um todo unificado e interorganizacional” (Bokrantz et al., 2020c). Também pode ser entendida como a relação por meio de redes e parcerias estratégicas com as partes externas da empresa, como por exemplo fornecedores de equipamentos (Lundgren, Bokrantz, Skoogh, 2021).

A integração externa se manifesta nos atributos de relação de concordância de dados, informações, conhecimentos, produtos e serviços e vínculos estreitos entre componentes interorganizacionais (Bokrantz et al., 2020b). Essa conexão permite que os dados de equipamentos sejam compartilhados entre as partes externas de interesse, permitindo, por exemplo, a aplicação de algoritmos de *Machine Learning* e a consolidação de recursos externos (dados, informação e conhecimento) para alcançar uma Manutenção *Smart* (Bokrantz et al., 2020a; Bokrantz et al., 2020b).

Conforme Bokrantz et al. (2017), estudos empíricos demonstram cenários prováveis para a manutenção na fabricação digitalizada, tendo como assuntos dominantes e grande probabilidade de influenciar o ambiente externo até 2030: a legislação e os padrões ambientais mais rígidos. Nesse sentido, espera-se que os gerentes de manutenção garantam que os equipamentos atendam aos requisitos ambientais.

Contudo, no estudo Delphi realizado por Bokrantz et al. (2017), houve uma resistência dentro do setor de manutenção em transformar o sistema tradicional, isto é, adotar e fortalecer a integração externa por meio dos relacionamentos abertos. O principal

motivo é pela concorrência no mercado e a segurança de dados que se mostram como uma forte preocupação com os riscos envolvidos no compartilhamento de dados em toda a cadeia de valor.

2.3. Aplicações de Manutenção *Smart* nas indústrias

Dentre as aplicações de Manutenção *Smart*, encontra-se a estrutura proposta pelos autores Algabroun, Al-Najjar, Jonsson, (2020) por meio do sistema de suporte à decisão de manutenção cognitiva-preditiva com três empresas visando a manutenção, produção, qualidade e economia. Assim, os autores deste artigo acreditam que este *framework* pode ser utilizado para integrar diferentes áreas de trabalho, pois permite que a integração seja mais estruturada e sistemática. Esses autores também manifestam que “a colaboração e o engajamento dos parceiros durante todo o processo de integração é crucial para o seu sucesso”.

Da mesma forma, Georgievskaia (2020) propôs uma aplicação de Manutenção *Smart* por meio de um sistema de análise preditiva em turbinas hidráulicas baseado no desenvolvimento da estratégia de uso mais eficaz, mais razoável e mais econômico dos equipamentos. Além disso, a proposta prevê o momento ideal para realizar os reparos necessários, reduzindo o risco de acidentes e desligamentos não planejados nos equipamentos.

Outro estudo de caso dentro da Indústria 4.0 envolvendo a introdução da Manutenção *Smart*, foi realizado por Salonen e Gopalakrishnan, (2021), quando decidiram avaliar a prontidão da indústria manufatureira sueca para implementar programas de Manutenção Preventiva (PM) dinâmica, diversificada e orientada por dados. Esses autores concluíram que as organizações de manutenção precisam tomar decisões com base em dados confiáveis em tempo real, em vez de experiência e instinto.

Cabe salientar que na literatura existem estudos teóricos sobre Manutenção *Smart* que visam esclarecer os conceitos em relação à Manutenção *Smart* e suas dimensões dentro do campo acadêmico de gestão da manutenção industrial, além de permitir colaborações mais eficientes entre indústria e academia (Bokrantz et al., 2020c). No entanto, existe uma limitação prática e direta sobre a Manutenção *Smart*, pois as teorias não foram testadas, portanto, há espaço para trabalhos exploratórios e de refinamento dos próprios conceitos quanto dos mecanismos subjacentes às relações entre os conceitos (Bokrantz et al., 2020c).

Por fim, Lundgren, Bokrantz, Skoogh (2022) encontram seis fatores que dificultam a Manutenção *Smart*: (1) clareza da liderança para definir o foco da organização, (2) cultura de resistência à mudança na organização, (3) perspectiva de sistemas complexos e diferentes para cada setor que convergem no desempenho geral da organização, (4) tempo e recursos de funcionários para o desenvolvimento estratégico das ações, (5) metas que impactem nas dimensões desejadas de Manutenção *Smart* e acompanhamentos das ações nas rotinas diárias e (6) definição das atividades específicas para alcançar as metas como organização. Assim, os autores propõem uma lista de recomendações e sugerem aos gestores de manutenção que “usem as recomendações para prevenir os fatores dificultadores antes da implementação ou reagir aos fatores dificultadores durante a implementação”.

3. MÉTODO DE TRABALHO

3.1. Descrição do cenário

O presente trabalho foi realizado no setor de manutenção da máquina de trituração de sucata em uma empresa siderúrgica. A equipe de manutenção é composta por onze pessoas: um coordenador de manutenção, um inspetor de manutenção, um planejador de manutenção, um eletricista e sete mecânicos responsáveis pela manutenção da máquina de trituração de sucata. Por ser uma máquina de grande porte, existem células de trabalho, onde a equipe de manutenção divide-se em frentes de trabalho e cujos responsáveis de cada célula são chamados de “padrinhos”. A Figura 1 apresenta o organograma da equipe de manutenção da máquina de trituração de sucata.



Figura 1 – Organograma da equipe de manutenção da máquina de trituração de sucata

Fonte: Elaborado pela autora

Normalmente a trituração de sucata acontece no turno da noite até início das atividades do turno da manhã, totalizando 11 horas de produção. Enquanto que a manutenção da máquina acontece durante o dia. Assim, as manutenções programadas e não programadas são realizadas em um período de aproximadamente 8 horas. A quantidade de horas disponibilizadas para a realização da manutenção da máquina se justifica por ser uma máquina de grande porte e robusta para triturar sucatas de grandes dimensões, como por exemplo pacotes de carros.

O planejamento das atividades de manutenção da máquina de trituração de sucata é gerado por meio de um *software* pelo planejador da área e é encaminhado aos mecânicos por meio de ordens de manutenção pelo mesmo *software*. Uma vez que os mecânicos finalizam suas atividades, as ordens de manutenção devem ser apontadas como concluídas no próprio *software*.

O cenário atual da manutenção da máquina de trituração de sucata contempla principalmente manutenções corretivas, encarecendo os custos de manutenção e manutenções preventivas para diminuir as situações emergenciais. A manutenção preditiva, por outro lado, é pouco utilizada no trabalho diário, apesar de existirem oportunidades para tanto. Dessa maneira, esta pesquisa propõe a aplicação de conceitos de Indústria 4.0 e Manutenção *Smart* que podem ampliar o uso de manutenção preditiva e auxiliar nas atividades de manutenção da equipe em questão.

3.2. Classificação da pesquisa

Considerando a natureza da pesquisa, o presente artigo é classificado como uma pesquisa aplicada, já que desenvolve uma solução para um problema enfrentado no planejamento de manutenção de uma máquina de trituração de sucata. Quanto à abordagem, esta pesquisa, é classificada como qualitativa, pois trata com profundidade aspectos de manutenção da máquina de trituração de sucata apoiada em informações reunidas junto à equipe de trabalho. Em relação aos objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva, por descrever melhorias nas atividades de manutenção da máquina de trituração de sucata por meio de conceitos de Indústria 4.0 e Manutenção *Smart*. Por fim, ao considerar os procedimentos da pesquisa, observou-se que se trata de uma pesquisa-ação, já que a autora do artigo em colaboração com profissionais da siderúrgica participaram diretamente no resultado da pesquisa, para mitigar problemas enfrentados

no planejamento de manutenção da máquina de trituração de sucatas (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007).

3.3. Etapas do trabalho

O trabalho foi organizado em seis etapas: (i) identificação dos modos de falha; (ii) identificação das ações preventivas pertinentes; (iii) identificação das ações preditivas para bloquear modos de falhas; (iv) análise da efetividade técnica-financeira da manutenção; (v) consolidação e arquitetura do plano de manutenção preditiva e (vi) planejamento das ações corretivas. Essas etapas estão detalhadas nos próximos parágrafos.

3.3.1. Identificação dos modos de falha

A identificação dos modos de falha foi realizada utilizando a estrutura da planilha FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha ou *Failure Modes and Effects Analysis*). Isso foi feito através de sete passos: conjunto, componente, função, padrão de desempenho esperado, modo potencial de falha, efeitos do modo potencial de falha e causas do modo potencial de falha. Assim, foi possível obter uma análise técnica do equipamento e seus modos potenciais de falha.

Para a aplicação da FMEA foi necessário realizar reuniões com especialistas da área. A Tabela 1 apresenta a área, o cargo, o período de atividades e suas responsabilidades na área.

Área	Cargo	Período de atividades	Responsabilidade
Manutenção do setor da máquina de trituração	Coordenador de Manutenção	4 anos	Coordenar a equipe de manutenção da máquina de trituração de sucata.
	Inspetor de Manutenção	20 anos	Inspecionar máquina de trituração de sucata.
Manutenção central da empresa	Planejador de Manutenção	5 anos	Planejar atividades de manutenção da máquina de trituração de sucata.
	Especialista de Manutenção	20 anos	Dar suporte técnico sobre manutenção nas diversas áreas da empresa.

Tabela 1: Profissionais da área de manutenção.

Fonte: Elaborado pela autora

3.3.2. Identificação das ações preventivas pertinentes

Uma vez realizada a estruturação da planilha FMEA e identificados os modos de falha, foram estipuladas ações preventivas pertinentes para a máquina de trituração de sucatas. O objetivo dessas ações é evitar ou minimizar a probabilidade de ocorrência dos modos de falha. As ações preventivas recomendadas devem detalhar o intervalo entre tarefas e os responsáveis pelas tarefas.

3.3.3. Identificação das ações preditivas para bloquear modos de falhas

Da mesma forma, foram discutidas e identificadas atividades de manutenção preditiva que podem auxiliar no bloqueio dos modos de falhas. As ações preditivas visam acompanhar o estado das variáveis com influência direta na falha de componentes que podem prejudicar o funcionamento correto e a operação da máquina de trituração de sucata. Para chegar até essas ações foram respondidas perguntas chaves, tais como: que variáveis influenciam na ocorrência do modo de falha, o que pode ser monitorado? e como pode ser monitorado?

3.3.4. Análise de efetividade técnica-financeira da manutenção

Após propostas as ações preditivas, foco principal deste trabalho, foi realizada uma análise de efetividade técnica e financeira da atividade preditiva proposta. Dessa maneira, é possível decidir a respeito das ações propostas que devem ser implementadas, considerando sua viabilidade e benefício.

3.3.5. Consolidação e arquitetura do plano de Manutenção Preditiva

Após a análise de efetividade, foi realizada a consolidação do plano de manutenção preditiva, incluindo a descrição detalhada das atividades preditivas a serem implementadas no equipamento. Isso envolveu a definição da forma de monitoramento, tratamento do sinal, possíveis condições de alerta, mensagens e respostas aos sinais de alerta.

Também, foram considerados ajustes necessários no *software* que é utilizado para gerar as ordens de manutenção com a finalidade de propor um novo layout que prevê a

incorporação da manutenção preditiva, conforme a consolidação do plano. Cabe salientar que o uso das quatro dimensões (tomada de decisão baseada por dados, recurso do capital humano, integração interna e integração externa) da Manutenção *Smart* foram consolidadas conjuntamente até essa etapa do trabalho.

3.3.6. Planejamento das ações corretivas

Com o intuito de contemplar possíveis intervenções de manutenção não programadas na máquina de trituração de sucata, foram levantadas sugestões para auxiliar a equipe de manutenção nas atividades. Essas sugestões contemplam especificações indicadas nos procedimentos da empresa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Identificação dos modos de falhas, das ações preventivas pertinentes e das ações preditivas para bloquear modos de falhas

Na aplicação da FMEA, a máquina de trituração foi organizada em seus 11 componentes. Para cada um desses componentes, foram descritas as suas funções e o padrão de desempenho esperado. A seguir, foram identificados 31 modos de falha e seus principais efeitos e causas potenciais. Na mesma planilha, foram consideradas as ações preventivas pertinentes e as ações preditivas necessárias para bloquear os modos de falhas.

Para a avaliação de risco, foi utilizado o critério severidade para os efeitos dos modos de falha. A severidade foi avaliada em uma escala do 1 ao 10, sendo 1: “efeito pouco severo” e 10: “efeito muito severo”. Os modos de falha, por sua vez, foram julgados pela sua ocorrência, também utilizando uma escala de 1 (mínima) a 10 (muito alta). A possibilidade de detecção das causas também foi avaliada seguindo a escala de 1 (quase certamente) a 10 (quase impossível). Por fim, foi calculado o RPN (Número de Prioridade de Risco) através do produto dos critérios avaliados: severidade x ocorrência x detecção. Considerando os 31 modos de falhas, 7 foram classificados de baixo risco ($RPN < 49$), 11 de risco moderado ($50 < RPN < 100$) e 17 de risco alto ($RPN > 100$).

Após obtidos o RPN, foram levantadas as ações preditivas recomendadas para cada modo de falha e suas respectivas causas. O Anexo A apresenta a FMEA aplicada ao

tritador. Um total de 35 ações preditivas foram recomendadas para minimizar a probabilidade de ocorrência dos modos de falhas apresentados, seguindo as ações indicadas nas subseções 3.3.1, 3.3.2 e 3.3.3.

4.2. Análise de efetividade técnica-financeira da manutenção

Após listadas as ações preditivas, foi realizada uma análise de efetividade técnico-financeira das ações associadas aos modos de falha que ficaram com risco mais elevado ($RPN > 100$). Assim, 17 ações preditivas foram objeto de análise com a finalidade de decidir a respeito da viabilidade de implementação dessas ações. A análise considerou a viabilidade técnica, que pode ser interpretada como a dificuldade técnica que a empresa possui para implementar tais ações, e o desembolso econômico, ou seja, a estimativa de custo que cada ação pode alcançar. Sendo elas classificadas como: custo baixo (\$), médio (\$\$) e alto (\$\$\$).

A Tabela 2, apresenta as ações preditivas selecionadas para cada componente da máquina de trituração, a dificuldade técnica e a estimativa de custo para cada ação. Além dos principais custos que foram considerados na estimativa de custo. Exemplificando, para o AS-01 a ação recomendada a ser aplicada seria “Implementar sensor indutivo no AS-01”. Essa ação apresenta dificuldade média para ser implementada e estimativa de custo médio (“\$\$”), sendo o principal custo a aquisição tecnológica. A ação 2, também associada ao AS-01, não foi escolhida pela alta complexidade técnica para sua implantação. Para o rotor do moinho das três ações propostas com risco alto, duas mostram-se viáveis para a empresa. A ação “Implementar sensor de cor para monitoramento de contaminantes no óleo” não foi considerada, pois a empresa entende que essa ação pode ser substituída com vantagens pela ação “Implementar sensor de monitoramento de óleo e vazão com regulagem automática”. Essa última é uma ação mais robusta e completa para o minimizar o modo de falha correspondente.

Na AV-01 e AV-02 foi contemplado como viável a ação preditiva “Implementar sensor que monitore de forma continua a amplitude da calha vibratória” para cada frente. Para os componentes “TC-01, TC-02, TC-03A - B, Z-BOX e TC-4” e “TC-05, TC-6, TC-07, TC-08, TC-9, e TC-10” a ação viável para cada um foi “Implementar sensor óptico com espelho nos funis com acompanhamento no CLP”, que apresenta uma dificuldade média e uma estimativa de custo baixo (\$) para sua implementação.

Com relação ao TM-01 e TM-02, a ação sugerida não foi considerada viável pois a empresa teria dificuldade alta e um custo médio para sua implementação, sendo assim essa ação mostra-se desvantajosa para a empresa. Já os últimos componentes (SM, Despoeiramento e ECs) tiveram uma ação preditiva viável para cada frente. Observa-se que, das 17 ações preditivas propostas inicialmente, 10 foram selecionadas para implementação e 7 foram descartadas por questões técnicas ou financeiras.

ITEM	COMPONENTES	AÇÕES RECOMENDADAS	DIFICULDADE TÉCNICA			ESTIMATIVA DE CUSTO			PRINCIPAIS CUSTOS	DEVE SER IMPLMENTADA?
			Baixa	Média	Alta	\$	\$\$	\$\$\$		
1	AS-01	Implementar sensor indutivo no AS-01		X			X		Aquisição tecnológica	SIM
2	AS-01	Implementar sistema de análise e monitoramento online do redutor			X		X		Hora/pessoa	NÃO
3	ROTOR DO MOINHO	Implementar sistema de monitoramento de óleo e vazão com regulagem automática		X				X	Aquisição tecnológica	SIM
4	ROTOR DO MOINHO	Implementar monitoramento de temperaturas do rolamento	X				X		Hora/pessoa	SIM
5	ROTOR DO MOINHO	Implementar sensor de cor para monitoramento de contaminantes no óleo		X				X	Aquisição tecnológica	NÃO
6	AV-01	Implementar sensor que monitore de forma contínua a amplitude da calha vibratória		X		X			Aquisição tecnológica	SIM
7	TC-01, TC-02, TC-03A - B, Z-BOX, TC-4	Implementar sensor de detecção de materiais clavados na esteira			X		X		Aquisição tecnológica	NÃO
8	TC-01, TC-02, TC-03A - B, Z-BOX, TC-4	Implementar sensor óptico com espelho nos funis com acompanhamento no CLP		X		X			Aquisição tecnológica	SIM
9	TC-05, TC-6, TC-07, TC-08, TC-9, e TC-10	Implementar sensor de detecção barras nas esteiras			X		X		Aquisição tecnológica	NÃO
10	TC-05, TC-6, TC-07, TC-08, TC-9, e TC-10	Implementar sensor óptico com espelho nos funis com acompanhamento no CLP		X		X			Aquisição tecnológica	SIM
11	AV-02	Implementar sensor que monitore de forma contínua a amplitude da calha vibratória		X		X			Aquisição tecnológica	SIM
12	AV-02	Implementar sensor que monitore a rotação dos motores		X				X	Aquisição tecnológica	NÃO
13	TM-01, TM-02	Implementar análise de magnetoscopia dos TMs			X		X		Hora/pessoa	NÃO
14	SM	Implementar monitoramento de temperaturas do SM	X				X		Hora/pessoa	SIM
15	DESPOEIRAMENTO	Implementar pressostato na linha de ar		X			X		Aquisição tecnológica	SIM
16	DESPOEIRAMENTO	Implementar sensor de pressão de ar na linha			X			X	Aquisição tecnológica	NÃO
17	ECs	Implementação de sensor de vibração nos ECs	X				X		Aquisição tecnológica	SIM

Tabela 2: Análise técnico-financeira.

Fonte: Elaborado pela autora

4.3. Consolidação e arquitetura do plano de Manutenção Preditiva

Após realizada a análise de efetividade técnico-financeira, foram consolidadas 10 ações com oportunidades de serem inseridos no novo plano de manutenção preditiva da máquina de trituração. A seguir são listados os itens priorizados na Tabela 2 com um breve resumo dos pontos-chaves que envolvem: definição da forma de monitoramento, tratamento do sinal, possíveis condições de alerta, mensagens e respostas aos sinais de alerta.

- Item 1: avaliar os pontos estratégicos no AS-01 para colocação do sensor indutivo; conectar sensor indutivo com o CLP da sala de comando da máquina de trituração; adicionar sinal alerta no supervisório quando o sensor detecte uma deformação nas sapatas; obter suporte técnico da equipe de manutenção elétrica; conferir e definir com o fornecedor os parâmetros dos pontos de coleta; programar um treinamento básico do funcionamento e acionamento do sensor com a equipe de manutenção e operador da máquina de trituração; definir o responsável por monitorar o estado do sensor; programar rotas de inspeção do sensor.
- Item 3: instalar sistema através de uma empresa terceira; avaliar instalação e parâmetros das coletas e regulagem; treinar ao padrinho, operador da máquina de trituração e aos mecânicos da linha para o monitoramento do sistema; programar insumos necessários para abastecimento do sistema; incorporar monitoramento, sinal visual e mensagem no supervisório quando o sistema estiver alertando “vazão baixa”; programar rotas de inspeção do sistema e periodicidade.
- Item 4: definir parâmetros de coleta e responsável pelo monitoramento dos dados das temperaturas; gerar relatório de acompanhamento, análise de dados e estimar vida útil do rolamento; programar periodicidade de inspeção; disponibilizar ferramentas de uso de monitoramento.
- Item 6 e 12: solicitar auxílio à manutenção elétrica para instalação do sensor e conexão com o supervisor para acompanhamento dos dados, sinal visual e mensagem; conferir com o fornecedor os parâmetros dos pontos de coleta; gerar relatório de acompanhamento da amperagem durante a produção, treinar operador da máquina de trituração para o controle da amperagem dentro da faixa padrão; programar periodicidade de inspeção do sensor.

- Item 8 e 10: avaliar locais estratégicos para implementação do sensor óptico nos funis; solicitar auxílio à manutenção elétrica para instalação do sensor e conexão com o supervisor para acompanhamento dos dados, sinal visual e mensagem; programar periodicidade de inspeção do sensor; treinar a equipe de manutenção e operação sobre os cuidados que precisam ter nas rotinas diárias; definir responsável pelo acompanhamento da quantidade de vezes que o sensor foi acionado por dia.
- Item 14: definir parâmetros de coleta e responsável pelo monitoramento dos dados da temperatura da bobina e óleo; gerar relatório de acompanhamento, análise de dados e estimar previsão de troca de óleo; programar periodicidade de inspeção; disponibilizar ferramentas de uso de monitoramento.
- Item 15: avaliar ponto estratégico no despoeiramento para colocação do pressostato; solicitar auxílio à manutenção elétrica para instalação do pressostato e conexão com o supervisor para acompanhamento dos dados, sinal visual e mensagem; conferir e definir com o fornecedor os parâmetros dos pontos de coleta; definir o responsável por monitorar o estado do pressostato e programar rotas de inspeção; gerar relatório de controle de obstruções de filtro de mangas; treinar a equipe de manutenção e operação sobre os cuidados que precisam ter nas rotinas diárias.
- Item 17: instalar sensor de vibração por meio de uma empresa terceira; solicitar auxílio à manutenção elétrica para conexão do sensor com o supervisor para acompanhamento dos dados, sinal visual e mensagem; definir parâmetros de coleta e responsável pelo monitoramento dos dados de vibração e geração de relatório; programar periodicidade de inspeção do sensor; treinar operador da máquina de trituração para o controle da vibração dentro da faixa padrão durante a operação.

Quanto a arquitetura do plano de manutenção preditiva da máquina de trituração, foram consideradas as quatro dimensões da Manutenção *Smart*. Baseado nisso, a Figura 2 mostra o fluxo de informações necessárias para a incorporação da manutenção preditiva.



Figura 2 – Fluxo da arquitetura do plano de manutenção preditiva

Fonte: Elaborado pela autora

4.4. Planejamento das ações corretivas

Contemplando um cenário com possíveis intervenções de manutenção não programadas, sugere-se oportunidades de melhorias a serem implementadas, tais como: controle de horas dedicadas para cada mantenedor; controle e apontamento correto dos mantenedores e planejador; elaboração de indicadores de performance; centralização de informações em bancos de dados específicos; padronização das rotinas de manutenção preditiva e elaboração de gestão a vista das atividades preditivas na máquina de trituração.

Essas melhorias podem ser acompanhadas por meio do plano de operacionalização, construído usando o método 5W2H. Esse plano de operacionalização está apresentado no Anexo B. Ele foi elaborado com a finalidade de auxiliar a equipe de manutenção do triturador de sucatas no monitoramento das ações e ressaltar a importância da aplicação dessas ações conforme o cronograma estabelecido.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho identificou os principais modos de falhas da máquina de trituração, seus principais efeitos e causas potenciais, além de desenvolver as ações preventivas e preditivas necessárias para bloquear a ocorrência desses modos de falhas. Para tanto, foi utilizada a técnica da FMEA, operacionalizada em cinco etapas: identificação do elemento em estudo, análise técnica da falha, planejamento da preventiva, planejamento da preditiva, avaliação de risco e proposição de ações de contingência necessárias. O estudo realizado contribui para a redução de tempos de paradas e os custos de manutenção da máquina de trituração através do uso de conceitos de indústria 4.0 e Manutenção *Smart*.

Visando a implementação das ações propostas, foram avaliadas por meio da análise da efetividade técnica-financeira as ações com risco mais elevado ($RPN > 100$). Um total de 17 ações apresentaram risco mais elevado, isto representa 48,57% do total das ações preditivas sugeridas e que foram analisadas por meio da sua viabilidade técnica e benefício econômico.

Através da FMEA e com o apoio da análise da efetividade técnica-financeira das ações preditivas, foi possível realizar a consolidação e arquitetura do plano de manutenção preditiva da máquina de trituração englobando as quatro dimensões da Manutenção *Smart* (tomada de decisão baseada por dados, recurso do capital humano, integração interna e integração externa).

Adicionalmente, contemplando as intervenções por manutenção não programadas (manutenções corretivas), foram sugeridas seis oportunidades de melhorias. Para trazer mais detalhes sobre o plano de operacionalização das melhorias propostas, foi utilizado o método 5W2H, que fornece suporte para o aprimoramento das intervenções não programadas.

Além das ações propostas no trabalho, sugere-se que a equipe realize constantes monitoramentos na máquina de trituração, para que, ao longo do tempo, novos modos de falha, efeitos e potenciais causas sejam identificados. Assim, a equipe terá a possibilidade de replicar o método utilizado neste trabalho, otimizando a operação da máquina de trituração e mantendo vivo o plano de manutenção da equipe.

Por outro lado, recomenda-se à equipe que, no mínimo 6 meses após as ações preditivas serem implantadas, as mesmas devem ser avaliadas para controlar o ganho efetivo que se obteve na operacionalização e manutenção da máquina de trituração. Para

trabalhos futuros, sugere-se avaliar o grau de maturidade da Manutenção *Smart* da máquina de trituração, por meio de suas quatro dimensões.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Algabroun H., Al-Najjar B., Jonsson M. (2020), “*A framework for the integration of digitalised maintenance systems with relevant working areas: A case study*”, IFAC-PapersOnLine, Vol. 53, Issue 3, 2020, pp. 185-190, doi: 10.1016/j.ifacol.2020.11.030

Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C. and Stahre, J. (2017), “*Maintenance in digitalised manufacturing: delphi-based scenarios for 2030*”, International Journal of Production Economics, Vol. 191, pp. 154-169, doi: 10.1016/j.ijpe.2017.06.010.

Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C. and Stahre, J. (2020a), “*Smart maintenance: instrument development, content validation and an empirical pilot*”, International Journal of Operations and Production Management, Vol. 40 No. 4, pp. 481-506, doi: 10.1108/ijopm-11-2019-0746.

Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T. and Stahre, J. (2020b), “*Smart Maintenance: a research agenda for industrial maintenance management*”, International Journal of Production Economics, Vol. 224, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107547

Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T. and Stahre, J. (2020c), “*Smart Maintenance: na empirically grounded conceptualization*”, International Journal of Production Economics, Vol. 223, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107534

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da. (2007), Metodologia científica. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall.

Frank, AG, Dalenogare, LS, Ayala, NF (2019), “*Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies*”, International Journal of Production Economics, Vol. 210, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004

Franciosi C., Voisin A., Miranda S., Iung B. (2020), "*Integration of I4.0 technologies with maintenance processes: what are the effects on sustainable manufacturing?*", IFAC-PapersOnLine, Vol. 53, Issue 3, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1016/j.ifacol.2020.11.001

Georgievskaia E. (2020), "*Predictive analytics as a way to smart maintenance of hydraulic turbines*", Procedia Structural Integrity, Vol. 28, pp. 836-842, doi: 10.1016/j.prostr.2020.10.098.

Gopalakrishnan M., Skoogh A., Salonen A., Asp M. (2019), "*Machine criticality assessment for productivity improvement: Smart maintenance decision support*", International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 68, doi: 10.1108/IJPPM-03-2018-0091

Ghobakhloo, M. (2018), "*The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0*", Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 29 No. 6, pp. 910-936, doi:10.1108/JMTM-02-2018-0057

Lundgren, C., Bokrantz, J. and Skoogh, A. (2021a), "*Performance indicators for measuring the effects of Smart Maintenance*", International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 70 No. 6, pp. 1291-1316. doi: 10.1108/IJPPM-03-2019-0129

Lundgren, C., Bokrantz, J. and Skoogh, A. (2021b), "*A strategy development process for Smart Maintenance implementation*", Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 32 No. 9, pp. 142-166. doi: 10.1108/JMTM-06-2020-0222

Lundgren, C., Bokrantz, J. and Skoogh, A. (2022), "*Hindering Factors in Smart Maintenance Implementation*", 2022, doi:10.3233/ATDE220181

Roy, R., Stark, R., Tracht, K., Takata, S., Mori, M. (2016), "*Continuous maintenance and the future—foundations and technological challenges*". CIRP Annals, Vol. 65, doi: 10.1016/j.cirp.2016.06.006

Salonen, A. and Gopalakrishnan, M. (2021), "*Practices of preventive maintenance planning in discrete manufacturing industry*", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 27 No. 2, pp. 331-350, doi:10.1108/JQME-04-2019-0041

Silvestri L., Forcina A., Introna V., Santolamazza A., Cesarotti V. (2020), "*Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review*", Computers in Industry, Vol. 123, doi: 10.1016/j.compind.2020.103335

Tan, Z., Li, J., Wu, Z., Zheng, J. e He, W. (2011), "*Uma avaliação da estratégia de manutenção usando inspeção baseada em risco*", Safety Science, Vol. 49 No. 6, pp. 852-860, doi: 10.1016/j.ssci.2011.01.015.

Thoben, K.-D., Wiesner, S. e Wuest, T. (2017), "'Indústria 4.0' e fabricação inteligente – uma revisão de questões de pesquisa e exemplos de aplicação", International Journal of Automation Technology, Vol. 11 No. 1, pp. 4-19.

Velmurugan K., Saravanasankar S., Bathrinath S. (2022). "*Smart maintenance management approach: Critical review of present practices and future trends in SMEs 4.0*", Materials Today: Proceedings, Vol. 62, Part 6, pp. 2988-2995, doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.622

ANEXO A

FMEA - ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS														FMEA Nº 1				
FMEA: PROJETO/PROCESSO			Processo			ÁREAS ENVOLVIDAS:			Manutenção SHR			PÁGINA: 1 de 1						
PROCESSO/PRODUTO:			Triturador de sucatas			CLIENTE/PROJETO:			Empresa Siderúrgica									
RESPONSÁVEL:			Gladys Enciso			EQUIPE:			Coordenador de Manutenção, Inspetor de Manutenção, Especialista									
Identificação do elemento em estudo			Análise técnica da falha			Planejamento da Preventiva			Planejamento da Preditiva					Avaliação do Risco		Ações de contingência se necessárias		
COMPONENTE	FUNÇÃO DO COMPONENTE	PADRÃO DE DESEMPENHO	MODOS DE FALHA POTENCIAL	EFEITO (S) DO MODO DE FALHA EM POTENCIAL	CAUSA (S) DO MODO DE DA FALHA POTENCIAL	PREVENTIVA INDICADA	INTERVALO ENTRE TAREFAS	RESPONSÁVEL	O QUE PODE SER MONITORADO	COMO PODE SER MONITORADO	CONDIÇÃO DE ALERTA	MENSAGEM	RESPOSTA DE ALERTA	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	RISCO (RPN)	AÇÕES RECOMENDADAS
AS-01	Alimentador de Sapatas. Rampa principal que transporta a sucata até o moinho.	Garantir alimentação constante. Velocidade de 20m/min para transportar sucatas.	Trincas nas sapatas	Interrupção na linha	Falha no projeto	Inspeção visual das sapatas	3 x semana	Colaborador A	Presença de trincas nas sapatas	Pela análise metalográfica das sapatas	Existência de trincas nas sapatas	"Detecção de trincas na sapata X", indicada no relatório da metalografia	Sustituição das sapatas com trincas	8	3	1	24	Realizar análises metalográficas das sapatas
			Deformação de sapatas	Trancamento do AS-01	Alimentação fora do padrão	Inspeção visual e/ou trocas programas das sapatas	diário	Colaborador A	Deformação de sapatas na linha de produção	Pela sensor indutivo (deformação)	Existência de formação nas sapatas	"detecção de sapatas X envergadas"	Sustituição das sapatas deformadas	8	8	3	192	Implementar sensor indutivo no AS-01
			Quebra do redutor	Trancamento da esteira	Excesso de material sob esteira	Inspeção visual da esteira AS-01	diário	Colaborador A	Corrente elétrica do motor	Pelos painéis de inversores	Corrente alta	Excesso de carga na esteira	Desligamento da esteira automaticamente para aliviar a carga	8	7	1	56	Implementar detecção de sobrecarga no inversor através do CLP (Controlador Lógico Programável)
				Trancamento da esteira	Lubrificação insuficiente e/ou óleo contaminado	Inspeção visual, realizar lubrificação e/ou troca de óleo quando necessário	1 x semana	Colaborador A	Nível e contaminação de óleo da redutora	Pelo sistema de análise e monitoramento online de óleo lubrificante	Sinal vermelho na redutora	Filtro sujo e/ou nível abaixo	Trocar filtro e/ou completar óleo do redutor.	7	8	3	168	Implementar sistema de análise e monitoramento online do redutor
			Trancamento da esteira	Desgaste do redutor	Inspeção visual e troca de redutor quando necessário	diário	Colaborador A	Vibração do redutor	Pela análise e monitoramento de vibração durante a produção	Gráfico de monitoramento das vibrações	Detecção de vibração fora do padrão	Gerar relatório de previsão de vida útil do redutor.	8	6	1	48	Implementação de sensor de vibração no redutor do AS-01	
			Alongamento nos elos das correntes	Alongamento geral na esteira	Tracionamento excessivo da corrente	Inspeção visual e troca de elos das correntes quando necessário	1 x semana	Colaborador AA	Alongamento dos elos da corrente	Pelo monitoramento inteligente das correntes	Desgaste das correntes	Correntes alongadas/danificadas	Trocar elos alongados das correntes	6	4	2	48	Implementar monitoramento inteligente das correntes

ROTOR DO MOINHO	Responsável pela trituração de sucata por meio do desalinhamento entre os martelos de ligas de manganês acoplados em um rotor	Produzir com rotação de 400RPM	Vazão abaixo do especificado (1,2 L/min) nas UH-04 e UH-05	Aquecimento da bomba de óleo	Falta de óleo na lubrificação	Acompanhamento do nível de óleo e/ou completar nível de óleo conforme especificado	diário	Colaborador B	Vazão da bomba de óleo	Pelo sensor de vazão de óleo do rotor com regulagem automática	Sinal vermelho no supervisorio durante a produção	Vazão da bomba está baixa	Interrupção do moinho para abastecimento da central hidráulica (UH-04 e UH-05)	10	9	2	180	Implementar sistema de monitoramento de óleo e vazão com regulagem automática
			Trocador de calor obstruído	Desgaste e/ou quebra do rolamento	Aquecimento do rolamento	Inspeção visual e limpeza	1 x semana	Colaborador B	Temperatura do rolamento	Por meio do monitoramento de temperatura durante a produção	Gráfico de monitoramento de temperatura	Deteção de temperatura elevadas	Gerar relatório de troca de rolamento por desgaste	9	5	3	135	Implementar monitoramento de temperaturas do rolamento
		Contaminantes permitidos < 15micras	Retentores com desgastes	Desgaste e/ou quebra do rolamento	Presença de água e contaminantes	Monitorar nível da água e impurezas no óleo	3 x semana	Colaborador BB	Nível de contaminação do óleo	Pelo sensor de cor no óleo	Sinal vermelho no sensor	Deteção de água e contaminantes	óleo contaminado, realizar troca	9	3	4	108	Implementar sensor de cor para monitoramento de contaminantes no óleo
			Trancamento do rotor	Desgaste e/ou quebra do rolamento	Excesso de carga	Monitorar continuamente a amperagem do motor	durante a produção	Colaborador BBB	Amperagem do rotor durante a produção	Por meio da coleta de dados durante a produção	Gráfico de amperagem do rotor	Ritmo de amperagem durante a produção	Previsão de troca de rolamento por desgaste	9	2	3	54	Implementar monitoramento de amperagem do rolamento
			Afrouxamento do rolamento	Desgaste e/ou quebra do rolamento	Folga interna	-	-	Colaborador BB	Vibrações do rotor e folgas axiais e radiais	Por meio da coleta de dados da vibração durante a produção	Gráfico de vibração ascendente	Deteção de vibração fora do padrão	Aperto da porca KM para diminuição da folga ou troca de rolamento.	9	4	2	72	Implementar análises de vibrações do rotor
AV-01	Alimentador Vibratório, onde acontece a passagem de sucata do moinho para a TC-01. A vibração faz soltar a terra que está encrustada na sucata.	Motores abaixo de 600 ampéres, Amplitude da esteira 14 a 16 ml/s	Obstrução da AV-01	Interrupção na linha	Excesso de sucata e terra dentro da AV-01	-	-	Colaborador C	Amplitude dos 4 cantos da calha vibratória	Pelo monitoramento do sensor de amplitude	Sinal vermelho no supervisorio durante a produção	Deteção de amplitude fora da faixa	Ajustar mecanismos de acionamento do motor da AV-01	9	5	4	180	Implementar sensor que monitore de forma continua a amplitude da calha vibratória
TC-01, TC-02, TC-03A - B, Z-BOX, TC-4	Correias transportadoras. São responsáveis pelo fluxo das sucatas ao longo de todo o processo Ferroso	Excentricidade (batimento) máxima de 0,6 mm, NBR 6678, Velocidade de 20m/min para transportar sucatas.	Rasgo na esteira	Esteira danificada	Passagem de materiais não conformes	Inspeção visual nas esteiras	diário	Colaborador C	Presença de materiais clavados nas esteiras durante a produção	Pelo monitoramento do sensor que identifica materiais clavados nas esteiras	Sinal vermelho no supervisorio durante a produção	Materiais clavados nas esteiras	Retirar materiais e/ou consertar esteiras	7	6	3	126	Implementar sensor de deteção de materiais clavados na esteira
			Desalinhamento das esteiras	operação intermitente	Excesso de terra	Limpeza diária das esteiras	diário	Colaborador C	Alinhamento das esteiras	Sensor de desalinhamento nas extremidades da esteiras	Sinal vermelho	Esteira desalinhada	Interrupção automática das esteiras para ajuste	8	6	1	48	Implementar sensor de desalinhamento para correia transportadora
					Rolos trancados ou caídos	Inspeção visual nas esteiras, rolos e desobstrução dos mesmos	diário	Colaborador C	Encaixe correto dos rolos	Pelo sensor que indique que o rolo está encaixado	Sinal vermelho	Rolos encaixados	Interrupção na linha para realizar o encaixe	7	5	2	70	Implementar sensor de deteção de rolos corretamente encaixados
			Queda de rolos	Desgaste de rolos	Queda de sucatas graúdas	Inspeção visual nas esteiras	diário	Colaborador C	Acompanhamento contínuo de saída de materias na linha de produção	Sensor de visão e tamanhos posicionadas estrategicamente	Passagem de sucatas fora da dimensão	Deteção de sucatas fora da dimensão	Interrupção automática das esteiras para remoção dos materias não conformes.	7	4	2	56	Implementar sensor de visão e tamanhos nas esteiras
			Obstrução do funil	Interrupção na linha	Excesso de material não conforme	Inspeção visual nas esteiras	diário	Colaborador C	Entupimento de funis por materiais não conformes	Sensor de óptico com espelho	Sinal vermelho no supervisorio	"Funis entupidos"	Interrupção da produção para desobstruir funis	6	7	3	126	Implementar sensor óptico com espelho nos funis com acompanhamento no CLP

TC-05, TC-6, TC-07, TC-08, TC-9, e TC-10	Correias transportadoras. São responsáveis pelo fluxo das sucatas ao longo de todo o processo Não Ferroso	Excentricidade (batimento) máxima de 0,6 mm, NBR 6678, Velocidade de 25m/min para transportar sucatas.	Rasgo na esteira	Esteiras danificadas	Passagem de barras durante a produção	Inspeção visual nas esteiras	diário	Colaborador D	Presença de barras nas esteiras durante a produção	Sensor que identifica barras nas esteiras durante a produção	Sinal vermelho no supervisão durante a produção	Barras nas esteiras	Retirar barras das esteiras	6	7	3	126	Implementar sensor de detecção barras nas esteiras
			Desalinhamento da esteira	Interrupção na linha	Rolos trancados ou caídos	Inspeção visual nas esteiras, rolos e desobstrução dos mesmos	diário	Colaborador D	Encaixe correto dos rolos	Pelo sensor que indique que o rolo está encaixado	Sinal vermelho	Rolos encaixados	Interrupção na linha para realizar o encaixe	7	5	2	70	Implementar sensor de detecção de rolos corretamente encaixados
			Queda de rolos de carga	Interrupção na linha	Queda de grandes materiais não ferrosos	Inspeção visual nas esteiras	diário	Colaborador D	Acompanhamento contínuo de saída de materias na linha de produção	Sensor de visão e tamanhos posicionadas estrategicamente	Sinal de passagem de material não ferroso fora da dimensão	Deteção de sucatas fora da dimensão	Interrupção automática das esteiras para remoção de grandes materias não ferrosos	7	5	1	35	Implementar sensor de visão e tamanhos nas esteiras
			Obstrução do funil	Interrupção na linha	Excesso de material não conforme	Inspeção visual nas esteiras	diário	Colaborador D	Entupimento de funis por materiais não conformes	Sensor de óptico com espelho	Sinal vermelho no supervisão	"Funis entupidos"	Interrupção da produção para desobstruir funis	6	8	3	144	Implementar sensor óptico com espelho nos funis com acompanhamento no CLP
AV-02	Alimentador Vibratório, tem como função remover rejeitos logo após 1º filtro dos TMs	Amperímetro dos motores abaixo de 600 ampéres, Amplitude da esteira 14 a 16 m/s	Obstrução da AV-02	Interrupção na linha	Excesso de sucata	Inspeção visual e limpeza na calha da AV-02	1 x semana	Colaborador E	Amplitude de dos 4 cantos da calha vibratória	Sensor de amplitude	Gráfico de amplitude dentro da faixa recomendado pelo fabricante	Deteção de amplitude fora da faixa	Ajustar mecanismos de acionamento do motor da AV-02	9	5	4	180	Implementar sensor que monitore de forma continua a amplitude da calha vibratória
			Baixa rotação dos motores	Interrupção na linha	Fim da vida útil do motor	Limpeza dos motores	1 x semana	Colaborador E	Acompanhamento da rotação (RPM) dos motores	Sensor de rotação dos motores	Gráfico de RPM dentro da faixa recomendado pelo fabricante	Deteção de RPMs fora da faixa	Previsão de troca de motores por desgaste	8	4	4	128	Implementar sensor que monitore a rotação dos motores
			Diminuição das correntes dos motores	Desgaste dos motores	Aquecimento dos motores	Lubrificação conforme as ordens de manutenção	1 x 15 dias	Colaborador E	Temperatura dos motores	Termografia dos motores	Gráfico de temperatura	Deteção de temperatura elevadas	Previsão de troca dos motores por desgaste	9	2	3	54	Implementar monitoramento de temperaturas dos motores
TM-01, TM-02	Tambores Magnéticos, onde é realizada a separação magnética dos materiais, isto é, separação da sucata ferrosa da não ferrosa e rejeitos	Força Magnética: De 2.500 até 4.500 Gauss, Tipo de Ímã: Ferrite, neodímio e samário-cobalto	Rachadura ou furo nos TMs	Interrupção no campo magnético	Fim da vida útil dos TMs	Limpeza das estruturas	2 x semana	Colaborador E	Presença de rachaduras ou furos nos TMs	Por meio da análise de ultrassom	Rachaduras nos TMs	Deteção de rachaduras no "TM1 ou TM2"	Programar conserto dos TMs	8	1	3	24	Aplicar análise de ultrassom: teste de partículas magnéticas nos TMs
			Enfraquecimento do campo magnético dos TMs	Perda de eficiencia das bobinas		Limpeza das bobinas	1 x mês	Colaborador E	Eficiencia do campo magnético das bobinas	Por meio de teste de magnetoscopia	Relatório da análise de magnetoscopia	Deteção de campo magnético ineficiente	Previsão de troca dos TMs	9	4	3	108	Implementar análise de magnetoscopia dos TMs
SM	Separador Magnético, é o segundo filtro da separação de material ferroso que acontece no fluxo da TC-06	Força Magnética: 2500 até 4500 Gauss, Temperatura de Trabalho: até 80 °C	Enfraquecimento do campo magnético dos SM-01	Perda de eficiencia das bobinas	Aquecimento da bobina	Limpeza das bobinas	1 x mês	Colaborador E	Eficiencia do campo magnético das bobinas	Por meio de teste de magnetoscopia	Relatório da análise de magnetoscopia	Deteção de campo magnético ineficiente	Previsão de troca do SM	9	3	3	81	Implementar análise de magnetoscopia dos TMs
									Temperatura da bobina e do óleo	Por meio da coleta de dados durante a produção	Gráfico de temperatura	Deteção de temperatura elevadas	Previsão de troca de óleo	8	4	4	128	Implementar monitoramento de temperaturas do SM

DESPOEIRAMENTO	é o segundo filtro de limpeza da sucata triturada. Responsável pela eliminação de impurezas	XX nanopartículas minifoneladas; elementos filtrantes para partículas de tamanho de 2 micras	Obstrução nos filtros de mangas	Desgaste dos filtros	Baixa pressão das válvulas pulso	Acionamento manual das válvulas	diário	Colaborador F	Pressão do ar no sistema de acionamento	Por meio de um pressostato da linha de ar	Indicativo de pressão de ar na linha durante a produção	Sinal vermelho no supervisão quando houver pressão baixa	Interrupção de produção para inspeção da linha de ar	8	6	3	144	Implementar pressostato na linha de ar
			Obstrução dos dutos	Interrupção na linha	Entrada de ar falso na linha dos dutos	Inspeção dos dutos e limpeza	2 x semana	Colaborador F	Pressão do sistema	Sensor de pressão de ar no sistema	Gráfico das pressões do ar	Deteção de pressão negativa no sistema	Interrupção da linha e inspeção da linha para olhar possível entrada de ar falso no sistema	8	7	3	168	Implementar sensor de pressão de ar na linha
PR-01	Peneira Rotativa, onde o material não ferroso é separado por diversas granulometrias antes de passar para o Eddy Current	Granulometrias com 3 seções: 0-20m; 30-0; 60-100; >100	Rompimento das chapas	Baixa qualidade do coproduto	Presença de material indesejável na linha de não-ferroso	Inspeção visual e trincas nas chapas	diário	Colaborador F	Densidade do material	Sensor que detecte a densidade no material na PR	Sinal vermelho no supervisão	Material indesejável na PR-01	Interrupção da linha sequencial	7	2	4	56	Implementar sensor de densidade na PR-01
			Desalinhamento das chapas	Trancamento da PR-01	Queda de parafusos	Inspeção visual das chapas	diário	Colaborador F	Presença de trincas nos parafusos ou chapas	Ultrasom dos parafusos e chapas	Trincas nos parafusos e/ou chapas	Deteção de trincas no parafusos X e chapa Y	Previsão de vida útil dos parafusos e/ou chapas	6	2	2	24	Implementar análise de ultrasom
EC-01, EC-02	Eddy Currents, responsáveis pelo aproveitamento dos materiais não ferrosos.	Processamento de Materiais não-ferrosos, Velocidade das esteiras de 30m/min	Correntes desalinhas	Interrupção na linha	Excesso de carga	Inspeção visual da linha	diário	Colaborador F	Alinhamento das correntes	Pela análise e monitoramento de vibração durante a produção	Gráfico de monitoramento das vibrações	Deteção de vibração fora do padrão	Intervenção na linha para ajustar possível desalinhamento das correntes	8	4	4	128	Implementação de sensor de vibração nos Ecs
			Baixa rotação dos motores	Interrupção na linha	Fim da vida útil do motor	Limpeza dos motores	1 x semana	Colaborador F	Acompanhamento da rotação (RPM) dos motores	Sensor de rotação dos motores	Gráfico de RPM dentro da faixa recomendado pelo fabricante	Deteção de RPMs fora da faixa	Previsão de troca de motores por desgaste	8	3	4	96	Implementar sensor que monitore a rotação dos motores
			Alongamento das correias	Perda de eficiência da linha de produção	Vida útil das correias	Inspeção visual das correias	diário	Colaborador F	Alongamento das correias	Pela monitoramento de ruído durante a produção	Gráfico de monitoramento de ruídos	Deteção de ruídos fora do padrão	Gerar relatório de previsão de troca de correias	8	6	2	96	Implementação de sensor ruído nos Ecs

ANEXO B

O quê?	Por quê?	Como?	Onde?	Quem?	Quando?	Quanto?
Controle de horas dedicadas para cada mantenedor	Porque é importante que os mantenedores programem suas atividades todos os dias, dedicando um tempo às atividades corretivas necessárias	Verificando que suas horas de trabalho fechem com as ordens de manutenção. Caso contrário, apontar ordens de manutenção corretivas necessárias do dia	Planilha de acompanhamento de ordens de manutenção	Todos os mantenedores	Curto prazo	Sem investimento financeiro por parte da empresa.
Controle e apontamento correto dos mantenedores e planejador	Porque o planejamento semanal das atividades deve contemplar todo tipo de manutenção (preditiva, preventiva e corretiva)	Comunicação direta entre mantenedor e planejador, levantamento de todas as atividades de manutenção, incluindo as corretivas.	Planilha de acompanhamento de ordens de manutenção e BI de planejamento de manutenção	Todos os mantenedores e planejador	Curto prazo	Sem investimento financeiro por parte da empresa.
Elaboração de indicadores de performance	Porque torna-se importante a avaliação da performance da manutenção do triturador. Podendo-se contemplar ações que auxiliem a alavancar os resultados.	Mapeando os principais indicadores de manutenção	BI de manutenção	Gestor, Coordenador, Planejador	Curto/Médio Prazo	Sem investimento financeiro por parte da empresa.
Centralização de informações em bancos de dados específicos	Porque facilita o controle das informações das manutenções preditivas, preventivas e corretivas	Consolidando as informações em uma pasta específica para que todos tenham acesso	Servidor da empresa	Planejador e demais responsáveis	Curto prazo	Sem investimento financeiro por parte da empresa.
Padronização das rotinas de manutenção preditiva	Porque garantirá que as manutenções preditivas sejam realizadas na data específica e da forma prescrita dos padrões	Criar padrões de rotina de manutenção preditiva detalhando as atividades que serão realizadas, o que e como será controlado.	Servidor da empresa	Inspetor de manutenção	Médio Prazo	Sem investimento financeiro por parte da empresa.
Elaboração de gestão a vista das atividades preditivas na máquina de trituração	Porque facilitará a gestão das atividades preditivas para toda a equipe e reforçará o conhecimento do que está sendo controlado, como e para quê está sendo controlado	Consolidando os pontos chaves das manutenções preditivas em um espaço fixo (quadro à vista)	Sala da manutenção	Inspetor de manutenção	Médio Prazo	Solicitar orçamento na gráfica (X <R\$500)