

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**



**THAIS MIRANDA MARCHESI BARBOSA**

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DE FALHAS EM MOTORES DE  
INDUÇÃO TRIFÁSICOS COM O INTUITO DE MINIMIZAR A  
INDISPONIBILIDADE OPERACIONAL:**

**PENEIRAS DE ROLOS**

VITÓRIA

2021

THAIS MIRANDA MARCHESI BARBOSA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DE FALHAS EM MOTORES DE INDUÇÃO  
TRIFÁSICOS COM O INTUITO DE MINIMIZAR A  
INDISPONIBILIDADE OPERACIONAL:**

PENEIRAS DE ROLOS

Parte manuscrita da Proposta de Projeto de Graduação da aluna **Thais Miranda Marchesi Barbosa**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Walbermark Marques dos Santos

Coorientador: Eng. Luan Nunes de Assis

VITÓRIA

2021

THAIS MIRANDA MARCHESI BARBOSA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DE FALHAS EM MOTORES DE INDUÇÃO  
TRIFÁSICOS COM O INTUITO DE MINIMIZAR A  
INDISPONIBILIDADE OPERACIONAL:**

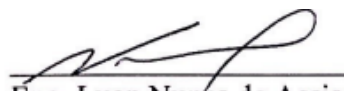
PENEIRAS DE ROLOS

Parte manuscrita da Proposta de Projeto de Graduação da aluna **Thais Miranda Marchesi Barbosa**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Eletricista.


Aprovada em 06 de outubro de 2021.



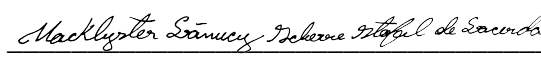
Prof. Dr. Walbermark Marques dos Santos  
Orientador



Eng. Luan Nunes de Assis  
Coorientador



Prof. Dr. Oureste Elias Batista – UFES  
Examinador



Macklyster Lanucy Scherre Stófel de Lacerda,  
Msc-UFES  
Examinador

VITÓRIA

2021

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por sempre fazer o melhor por mim, me dando sabedoria, saúde, força e persistência para superar as dificuldades no decorrer deste Curso.

A esta universidade, seu corpo docente, sua direção e sua administração, que oportunizaram este momento.

Ao meu orientador Professor Dr. Walbermark Marques dos Santos, meu coorientador Eng. Luan Nunes de Assis e Professora Márcia Paiva, pelo suporte no pouco tempo que lhes coube, pelas correções e incentivos.

Aos meus pais, meu esposo e minha irmã, pelo amor, pelo incentivo e pelo apoio incondicional. Um agradecimento especial a minha irmã, que me ajudou com a correção ortográfica.

Aos meus colegas de trabalho, que me ajudaram com todas as informações necessárias.

Aos meus amigos da universidade pelo companheirismo e pelo apoio.

Aos meus familiares e meus amigos que sempre torceram por mim.

Ao lembrar dessa fase, muitos momentos difíceis me vêm à mente, mas nada seria possível se não estivessem comigo. Muito obrigada a todos!

## **RESUMO**

O presente trabalho, em seu contexto, traz uma discussão em torno de falhas que ocorreram nos motores elétricos nas usinas 5 a 7 de pelotização da Vale - Complexo de Tubarão nos anos de 2019 e 2021, que geraram muitas paradas de usinas e, conseqüentemente, manutenções corretivas. Tais fatores acarretam exposições aos riscos de acidentes e perdas de produção. Os motores trifásicos são utilizados em diversas áreas das usinas, entretanto no setor das peneiras de rolos ocorreram várias queimas, o que acarreta à indisponibilidade física das usinas, e, por consequência, gerando prejuízo à empresa. Visando apresentar uma proposta de aumento da vida útil desses equipamentos e assegurar sua continuidade operacional, pretende-se elencar sugestões de minimização das falhas envolvidas na queima dos motores trifásicos das peneiras de rolos das usinas 5 a 7. Então, por meio de um levantamento bibliográfico, em obras semelhantes ao tema exposto, planeja-se identificar as causas das falhas apresentadas pelos motores e avaliar algumas sugestões de ações que resultem na redução do número de falhas e na diminuição do custo de manutenção com atendimento corretivo.

Palavras-chave: Manutenção. Falhas. Motor.

## **ABSTRACT**

This study, in its context, aimed at discussing on failures that occurred in electric motors from 5 to 7 of pelletizing plants of Vale, Tubarão Complex during the years 2019 and 2021, which generated many plant shutdowns and, consequently, being applied preventive maintenance. These factors are the leading cause of accident risks and production losses. Three-phase motors are widely used as drives for mills, however, regarding the roller sieve there have been several electrical motor breakdowns, which leads to the physical unavailability of the plants, and thus generating company losses. Aiming at presenting a proposal to increase the useful life of this equipment and to assure its operational continuity, it is relevant to include a list of suggestion for minimizing the failures involved in the burning of the three-phase motors of the roller sieves of plants 5 to 7. Then, through a bibliographical survey, consisting of similar works that explore this theme, it is planned to determine the causes associated with the failures of motors as well as evaluating some suggested actions that result in minimizing the number of failures and in the cost-cutting related to preventive maintenance.

Keywords: Maintenance. Failures. Motor.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo do processo de pelotização – Vale.....	23
Figura 2 - Foto dos motores da peneira de rolos da Usina 6 (2019).....	24
Figura 3 - Ilustração do fluxograma geral do forno de pelotização.....	24
Figura 4 - Visão superior sentido fluxo de produção do forno.....	25
Figura 5 - Histórico de substituições de motores da peneira de rolos da usina 6.....	30
Figura 6 - Tela do PIMS com as temperaturas do forno de cada Usina (2019) .....	31
Figura 7 – Motores da peneira de rolos da usina 7 .....	36
Figura 8 – Imagens das inspeções termográficas dos motores.....	37
Figura 9 - Especificações técnicas do motor. ....	38
Figura 10 - Imagem dos motoredutores instalados na Usina 6 .....	39
Figura 11 - Ilustração do início do Anexo 2, tópico 6.1 do PRO-026192 (Procedimento - Métodos de trabalho das atividades do PCM e PCO).....	44
Figura 12 - Itens do plano de manutenção.....	44
Figura 13 - SWOT - análises do planejamento estratégico de algumas propostas.....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Paradas de usinas devido à falhas elétricas na peneira de rolos, de 2015 a 2019 (quantidade falhas/ tempo de intervenção).....	26
Gráfico 2 - Temperatura na região da Peneira de Rolos.....	32
Gráfico 3 - Emissão de particulado nos anos de 2017 a 2020 (Média da taxa em mg/Nm <sup>3</sup> por ano). .....	33
Gráfico 4 - Taxa de particulado (Média da taxa em mg/Nm <sup>3</sup> por ano).....	33
Gráfico 5 - Média de pressão da malha, secagem ascendente.....	34



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Histórico de paradas corretivas nas peneiras de rolos das usinas 5 a 7, devido falhas em motores nos anos 2019 e 2020 .....	27
Quadro 2 - Índice de polarização.....	40
Quadro 3 - Índice de Absorção.....	40
Quadro 5 - Folha de dados das especificações do novo motoredutor .....	41
Quadro 5 - Descrição de alguns dados do plano de manutenção da região da peneira de rolos das usinas 5 a 7. ....	44

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Demonstrativo de perdas da usina 7 (média anual).....	28
Tabela 2 - Demonstrativo de perdas da somatória das usinas 5 e 6 (média anual). ....	29
Tabela 3 - Dados de condições meteorológicas da região da peneira de rolos da usina 7 .....	36

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AWA	Analisador Avançado de Resistência de Isolamento
GPV-PE	Gestão de Produção Vale - Pelotização
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PCO	Planejamento e Controle de Operação
PIMS	Plant Information Management Systems
PRO	Procedimento
SAP	Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados
SISPAV	Sistema de Padronização Vale
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
mg/Nm <sup>3</sup>	Miligrana por normal metro cúbico
mmH <sub>2</sub> O	Milímetro de coluna de água

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>IMPACTO DE MOTORES ELÉTRICOS NA INDÚSTRIA .....</b>	<b>17</b>
2.1	Manutenção .....	17
	Estratégias para Confiabilidade de Motores.....	18
2.1.1	Manutenção Corretiva .....	19
2.1.2	Manutenção Preventiva .....	19
2.1.3	Manutenção Detectiva .....	19
2.2	Vida Útil .....	19
2.3	Falhas.....	20
2.4	Análise de sinais .....	20
2.5	Vibração.....	21
2.6	Termografia .....	22
<b>1</b>	<b>HISTÓRICO DE FALHAS .....</b>	<b>23</b>
1.1	Pelotização Vale .....	23
1.2	Perfil de Perdas - Usinas 5 A 7 (Manutenção Elétrica - 2019).....	25
1.3	Falhas Ocorridas em 2019 e 2020 na Peneira de Rolos das Usinas 5 a 7 .....	26
1.4	Características dos Eventos .....	29
1.4.1	Controle de Substituições de Motores – Usina 6.....	29
1.4.2	Fatores Que Influenciam no Desempenho dos Motores .....	31
<b>2</b>	<b>ANÁLISES.....</b>	<b>35</b>
2.1	Ações propostas .....	41
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Optou-se em discutir sobre a manutenção preventiva ao analisar um elevado número de falhas recorrentes nos motores de indução trifásicos das peneiras de rolos das usinas 5 a 7 de pelotização Vale - Complexo de Tubarão, tendo em vista minimizar o impacto desses ativos na produção. Normalmente, as práticas de manutenções realizadas nas empresas privadas são com atendimento corretivo, ou seja, reparação do equipamento depois que está avariado. Define-se manutenção como “ato ou efeito de manter ou manter-se; ato de conservar ou de fazer durar algo em bom estado” (MICHAELIS, 2021). Desse modo, evidencia-se que a manutenção deve ser formada por ações, a fim de evitar que o equipamento falhe. A partir disso, ao analisar como as manutenções interferem, diariamente, na produtividade dos setores industriais, as manutenções corretivas, geralmente, são vistas como estratégicas pelas empresas.

O princípio que orienta a manutenção preventiva define-se pela aplicação sistemática e regular de discernimento de engenharia, assim como de manutenção de equipamentos e instalações, assegurando sua funcionalidade e reduzindo sua taxa de deterioração. Esta também engloba a lubrificação, a inspeção, o exame, os testes e os ajustes regulares do equipamento sem o entendimento prévio de falha. A manutenção preventiva determina um quadro para atividades planejadas, como a indicação de problemas e, desse modo, a realização de ordens de trabalho. Esse cenário resulta no aprimoramento da vida útil e do desempenho em relação à maquinaria, bem como um ambiente proativo (GUERRA, 2020).

A partir dessa perspectiva, interpreta-se que as manutenções preventivas aprimoram os lucros operacionais e a propriedade do equipamento, em sua relação. Esse cenário balanceia entre o custo da falha do equipamento com o custo de manutenção, bem como os déficits de produção relacionados. Assim, torna-se fundamental relacionar os custos por meio de fatores: o tempo de vida útil do equipamento, o preço de compra e o custo de manutenção. Todavia, a manutenção preventiva agrupa comportamentos que aumentam o tempo de vida útil dos equipamentos e, por isso, pode-se evitar, por meio da substituição de manutenções corretivas falhas desnecessárias ao se utilizar técnicas preditivas e preventivas. Vale ressaltar, também, que um programa de manutenção preventiva total é essencial para um processo de produção eficiente, confiável e seguro. Por isso, os benefícios são diretos e substanciais, incluindo: alta qualidade do produto, longa vida útil da máquina, elevada segurança e diminuição de parada do trabalho.

Evidencia-se, ainda, por meio da análise do histórico de produção das usinas 5 a 7 da Vale – Complexo de Tubarão, que nos motores elétricos, presentes em toda empresa, ocorrem alguns danos em enrolamentos comuns que são reincidentes como: bobina curto-circuitada, curto entre fases, curto na conexão, curto na saída/interior da ranhura, pico de tensão, desbalanceamento de tensão, rotor travado, sobreaquecimento e falta de fase ligação estrela/triângulo, entre outros. Existe, por isso, a necessidade de um plano de ação mais detalhado, a fim de atenuar essas incidências, por meio da ação preventiva, ao invés de esperar que entre em colapso, com o intuito de assegurar a máxima continuidade operacional.

Ao analisar o elevado número de paradas das usinas 5 a 7 durante os anos de 2019 e 2020 (totalizando 12 eventos, somando 20 horas e 09 minutos de duração), devido aos motores da peneira de rolos, houve a necessidade de estudos referentes às causas de falhas. Isso porque, além das perdas de produção, que representam em média 3.782 toneladas por ano (aproximadamente 400 mil reais por ano), as atuações corretivas expõem os profissionais a condições de risco, as quais podem ser evitadas ou mais bem planejadas.

Dessa maneira, um trabalho que identifique e aponte soluções que venham a minimizar e/ou eliminar as falhas mais recorrentes e aumentem o tempo de disponibilidade operacional destes motores é de extrema importância, sendo, então, o âmago da justificativa e motivação do trabalho.

O objetivo geral desse trabalho consiste em elencar sugestões de minimização das falhas envolvidas na queima dos motores trifásicos das peneiras de rolos das usinas 5 a 7. Já os objetivos específicos são: Examinar as características comuns a todas as falhas apresentadas e identificar as causas das falhas nos motores e também examinar métodos que venham a minimizar as falhas com maiores recorrências e assegurar a máxima continuidade operacional.

Neste trabalho realizou-se, inicialmente, uma revisão dos trabalhos já existentes sobre o tema abordado, a fim de compreender melhor acerca do “Estudo e Avaliação de Falhas em Motores de Indução Trifásicos com Intuito de Minimizar a Indisponibilidade Operacional”. A partir disso, além de documentos oficiais, foram realizadas pesquisas, de modo a obter informações sobre a importância de motores de indução trifásicos nas indústrias. Desse modo, em Guerra (2020) descreve-se a importância da manutenção preventiva, Gonçalves (1994) fala sobre a evolução tecnológica e o impacto na indústria, que a Eletrobrás/Procel (2015) mostra que os motores representam um elevado custo em relação aos bens de consumo. Ainda, Monchy

(1989) relata a origem da manutenção e Palmer (2005 *apud* PIRES, 2005, p. 21) a manutenção na indústria. Ramos (2009) menciona a concepção de que a manutenção era vista como gastos e custos, Manut (2011) expõe a importância do controle e conhecimento para evitar algumas chances de falhas. Xavier (2003) diz sobre a manutenção preventiva e seus espaços de tempo, já Kardec e Nascif (2014) explicam os diferentes tipos de monitoramento.

Ainda, Lamin Filho (2003), Spamer (2009) e Nepomuceno (1989) descrevem sobre as detectadas por medições. Oppenheim (2010), sobre análises de sinais e suas classificações. Já Almeida (2016), fala sobre monitoramento de vibrações. Murphy (2010), sobre como as vibrações podem interferir nas funções do equipamento. Orhan, Aktür & Elik (2006) e Sheffer & Girdhar (2004) relatam sobre o método utilizado para a supervisão das condições de operação de máquinas a partir das vibrações.

Yamachita (2013) e Álvares (2008) falam sobre as imagens termográficas. Tarpani (2008) e Junior (2012) relatam sobre as vantagens da termografia. Ademais, Junior (2012) fala sobre algumas desvantagens. Por fim, Júnior (2010) transcorre sobre a utilidade da técnica de termografia.

Dado os objetivos desse trabalho, estratifica-se seu desenvolvimento, a fim de demonstrar o modo como será realizado, bem como discorrido suas etapas. Desse modo, serão apresentadas a seção “IMPACTO DE MOTORES ELÉTRICOS NA INDÚSTRIA”, que buscará mapear e conhecer a importância dos motores elétricos indutivos trifásicos nas usinas. Já a subseção “MANUTENÇÃO” reproduzirá pesquisas referentes à preservação de equipamentos, a de “ESTRATÉGIAS PARA CONFIABILIDADE DE MOTORES” relatará algumas estratégias adotadas pelas empresas para minimizar o impacto de algumas falhas, por meio das Seções: “Manutenção corretiva”, “Manutenção Preventiva”, “Manutenção Preditiva” e “Manutenção Detectiva”. Ainda apresentará as subseções: “VIDA ÚTIL”, ao relatar informações importantes sobre a duração de motores elétricos; “FALHAS”, descrevendo sobre falhas que podem ser detectadas por medições; “ANÁLISES DE SINAIS”, ao transcorrer sobre alguns tipos de sinais que podem ser analisados; “VIBRAÇÃO”, ao descrever sobre o acompanhamento de condições de operação de máquinas a partir das vibrações e, por fim, “TERMOGRAFIA”, transcorrendo sobre a utilidade da técnica de termografia.

Em seguida a seção “HISTÓRICO DE FALHAS” trará características importantes sobre os estudos que foram e serão realizados neste projeto, com as subseções “Pelotização Vale”



ilustração do processo de pelletização - Vale, “Perfil de Perdas - Usinas 5 A 7 (Manutenção Elétrica - 2019)” estudo de casos realizados pela empresa para identificar pontos críticos de perdas, “Falhas Ocorridas em 2019 e 2020 na Peneira de Rolos das Usinas 5 A 7” apresentará de forma quantitativa as falhas geradas pelos motores e “Características dos Eventos” que expõe detalhes técnicos de defeitos ocorridos nos motores, na subseções, já a sua subseção “Controle de Substituições de Motores – Usina 6” identifica uma metodologia utilizada pela equipe de manutenção elétrica das usinas 5 a 7 de controlar as substituições dos motores da peneira de rolos das usinas, e na outra subseção “Fatores Que Influenciam no Desempenho dos Motores na Vale” revelará algumas condições que os motores estão submetidos através das subseções “Temperatura”, “Particulado – Usina 7” e “Pressão – Usina 7”.

Por último a seção “ANÁLISES”, mostrará a importância dessa manutenção comparando períodos anteriores a sua submissão com sua implementação no decorrer do projeto, com a subseção “Ações propostas”, que sugerirá atuações a serem realizadas para melhorar ainda mais a proposta de manutenção preventiva.

## **2 IMPACTO DE MOTORES ELÉTRICOS NA INDÚSTRIA**

A constante evolução tecnológica reflete em um impacto na indústria, gerando processos significativos na manufatura. Com a informatização das máquinas, a indústria foi ganhando painéis que funcionam como computadores. Desse modo, muitos profissionais e operadores de manutenção precisam atualizar seus conhecimentos para continuar no mercado de trabalho, agregando outras habilidades e competências (GONÇALVES, 1994).

Com a revolução tecnológica, as empresas também precisaram de evolução, levando muitos dirigentes a repensarem o processo de manutenção. Nesse contexto, faz-se necessário que os equipamentos atuais tenham total disponibilidade para produção.

O motor elétrico é considerado pela área de manutenção industrial como um componente responsável, a longo prazo, por um alto custo em relação aos bens de consumo composto por ele, uma vez que há, muitas vezes, um custo de energia elétrica superior ao valor do equipamento em si. Ademais, vale mencionar que a compreensão de seu impacto na indústria, bem como de ter uma ideia de seu significado, necessita-se, basicamente, compreender que na seção industrial, os motores elétricos são responsabilizados por praticamente 70% (setenta por cento) da energia elétrica total consumida em seus processos (ELETROBRÁS/PROCEL, 2015).

Visto isso, percebe-se que os motores são os maiores consumidores de energia elétrica em uma indústria, assim como um dos principais equipamentos, pois possuem a finalidade de garantir o maior índice de produção das máquinas, aumentando a sua indispensabilidade.

### **2.1 Manutenção**

O termo manutenção originou-se, de acordo com o entendimento de Monchy (1989), do vocabulário militar, dado que sua etimologia significava manter, nas unidades de combate, o material e o efetivo constantemente em um certo nível. Sua origem deu-se em 1950 nos Estados Unidos. Vale citar, ainda, que os franceses associam mais esse termo a conservação. Já para Palmer (2005), o intuito da manutenção é garantir a credibilidade de uma planta industrial em relação à sua capacidade. Outrossim, ao seguir esse raciocínio, conclui-se, pelo próprio autor, que o investimento em equipamentos que necessitam de menor intervenção torna-se preferível,

ou seja, adotar tal comportamento faz-se mais eficaz que implementar uma política com intenção de ser eficiente no reparo.

Pode-se mencionar, ainda, as pesquisas de Nicoletti (2006), na medida em que esse autor enfatiza que ao serem identificadas, bem como otimizadas numa cadeia de valor da organização, as áreas de manutenção possuem potencial no oferecimento de vantagem competitiva. Vale citar, aqui, que a cadeia de valor se forma por meio de nove categorias genéricas que se subdividem em duas atividades, as Atividades Primárias: Operações, Logística Interna e Externa, Serviços, Marketing e Vendas e as Atividades de Apoio: gerência de RH, infraestrutura, Aquisição e Desenvolvimento de Tecnologia.

Ademais, verifica-se que grande parte dos autores se preocupam em evidenciar o quanto a manutenção é importante para o lucro de uma empresa, assim como seu *status* perante a conjuntura do século XXI, vivenciada no contexto global com relação à economia. Ramos (2009), destaca, também, como a manutenção do parque de máquinas de uma indústria mostra-se importante ao levar em consideração o histórico de quando a manutenção ainda era taxada como um fator de gastos e de custos.

A perspectiva mais conhecida da manutenção no passado, passava-se como serviço rotineiro e repetitivo, baseado em troca de peças, com pouca técnica e improvisos emergenciais. No entanto, uma vez que possui uma grande influência em relação à parada de máquinas, enquanto ocorre a produção, tal cenário está ganhando uma nova concepção (RAMOS, 2009).

Vale acrescentar, por fim, que há a defesa de outros pontos pertinentes envolvendo tanto a lucratividade da empresa, quanto a redução dos custos da empresa. Outrossim, a redução nos números de acidentes dentro da empresa faz-se um aspecto de grande relevância ao considerar o método de manutenção preventiva. Isso porque, além de também reduzir custos, aumenta a garantia da integridade dos operários, representando, ainda, aspectos positivos quando se considera as leis trabalhistas.

### **Estratégias para Confiabilidade de Motores**

Em pleno século XXI as Indústrias possuem como característica uma unidade de denso volume de produção, bem como de grande complexidade. Favorecida, ainda, por evoluídos sistemas de automação, entende-se que há uma imposição, com grande perspicácia, da necessidade de

controlar e conhecer as chances de falhas, sejam globais ou parciais, mas que ofereçam riscos de comprometer a produtividade. Altos déficits na economia da empresa e para o país traduzem-se em perdas (MANUT, 2020).

Com o intuito de identificar previamente falhas e, assim, aumentar a garantia de disponibilidade de equipamento, surge o dever de criar métodos de manutenção, a fim de aperfeiçoar os rendimentos, além de aprimorar processos produtivos.

### 2.1.1 Manutenção Corretiva

Define-se por atuar evitando danos ou redução do desempenho, tendo como base um planejamento fundamentado em períodos definidos. Segundo Xavier (2020), é essencial que exista imposição dos espaços de tempo. No entanto, há a tendência de um conservadorismo, realizando um intervalo menor do que deveria, causando a parada e a troca desnecessária de peças.

### 2.1.2 Manutenção Preventiva

Define-se pela agregação de atividades de rastreamento das variáveis ou padrões que apontam o desempenho dos equipamentos, almejando, de forma sistêmica, estabelecer a indispensabilidade ou não de intervenção (XAVIER, 2020).

### 2.1.3 Manutenção Detectiva

Define-se pela efetuação em sistemas de comando ou proteção, de modo a buscar a detecção de falhas ocultas ou que não são percebidas pelos operadores e pelo pessoal da manutenção (XAVIER, 2020).

## 2.2 Vida Útil

A vida útil de um motor está totalmente relacionada com o acompanhamento de fatores que impactam seu funcionamento, como parâmetros de vibração, corrente e temperatura, os quais são fundamentais para avaliar possíveis falhas em máquinas elétricas.

O sistema de isolamento dos enrolamentos é um dos principais fatores que influenciam na vida útil dos motores. Para aumentá-la é necessário monitorar o equipamento em um intervalo de tempo, geralmente, definido nos planos de manutenção das empresas.

No monitoramento subjetivo o inspetor aplica seus próprios sentidos para diagnosticar o problema do equipamento. Em um monitoramento objetivo o intuito é prover os valores de medição do indicador analisado, a partir de um conjunto de equipamentos ou de instrumentos especiais para realizar o monitoramento. Já o monitoramento contínuo, entende-se como uma aplicação de um conjunto de dispositivos que promovem o acesso aos dados em tempo real, permitindo a interação remota entre o técnico e o equipamento. O monitoramento contínuo, em conjunto com a manutenção preditiva, auxilia na diminuição de chamadas técnicas desnecessárias ou de urgência, isso tem impacto direto no orçamento, pois paradas sem programação tendem a encarecer o processo (KARDEC; NASCIF, 2015).

Vários fatores são levados em consideração para determinar qual o melhor tipo de monitoramento a ser adotado. Deste modo, é necessário avaliar as necessidades e características de cada empresa.

### **2.3 Falhas**

Pode-se dizer que as falhas de um motor de indução podem ser detectadas por medições de fluxo magnético e corrente. As falhas que distorcem o fluxo magnético no entreferro e a corrente no estator, geralmente são as mais comuns em termos elétricos. Algumas dessas falhas são excentricidades no rotor/eixo que alteram a impedância de magnetização do entreferro; desbalanceamento de enrolamentos de estator e bobinas em curto que variam a impedância do estator; baixa isolamento; barras quebradas ou enrolamentos defeituosos no rotor; subtensões e sobretensões na alimentação; (LAMIN FILHO, 2003), (SPAMER, 2009) e (NEPOMUCENO, 1989).

### **2.4 Análise de sinais**

Fenômenos físicos, como vibrações mecânicas, ondas eletromagnéticas, sinais elétricos, transmissões de dados digitais, entre outros, podem ser representados por sinais. Esses sinais podem ser classificados como periódicos e não-periódicos, de acordo com a sua periodicidade

e também podem ser classificados como contínuos ou discretos, em relação a sua continuidade (OPPENHEIM, 2010).

Alguns dados podem ser coletados por instrumentos específicos, sendo importante conhecer sobre técnicas de medição, as análises de sinais no domínio da frequência e do tempo.

## **2.5 Vibração**

Os planos de manutenção preditiva dos motores elétricos utilizam a análise de vibração como a principal instrumento relacionado ao espectro de corrente, já que a maioria dos equipamentos industriais são equipamentos mecânicos e são acionados por motores elétricos. O monitoramento de vibração proporcionará a melhor ferramenta para coleta de identificação diária e precoce de problemas. (ALMEIDA, 2016).

Segundo Murphy (2010), embora algumas vibrações possam ser necessárias, outras podem interferir nas funções ou mesmo danificar o equipamento.

Essa análise é um método utilizado para a supervisão das condições de operação de máquinas, que possibilita detectar tendências a falhas com a intenção de diminuir custos de manutenção e inatividade. A técnica conta com a coleta de vibrações por meio de transdutores acoplados às máquinas. As aferições são feitas frequentemente e seu monitoramento é realizado ao comparar as medições anteriores, com a medição estabelecida pela norma reguladora e pela especificação do fabricante. As máquinas em perfeito funcionamento provocam pequenas e constantes vibrações. Caso haja avarias, mudanças ocorrem nas vibrações (ORHAN, AKTÜR & ELIK, 2006).

As informações são apuradas por meio de transdutores e são trabalhadas em um software de análise de vibração que possibilita provocar alarmes, em que indicam possíveis problemas caso os níveis de vibração ultrapassem limites estabelecidos por experiência técnica ou por normas regulamentadoras. Outrossim, permite visualizar espectros de frequência, o que permite identificar os componentes com tendências a falhas (SHEFFER & GIRDHAR, 2004).

## 2.6 Termografia

Segundo YAMACHITA (2013), a termografia baseia-se na previsão térmica de imagens. Isso ocorre por meio da radiação infravermelha emitida pelos objetos que possuam temperatura acima do zero absoluto ( $0^{\circ}\text{K}$  ou  $-273,16^{\circ}\text{C}$ ), derivando da agitação de átomos e de moléculas que constituem esse determinado objeto. Ainda, ÁLVARES (2008) menciona que o processo de radiação citado ocorre em transferência de energia, sendo que uma superfície de mais altas temperaturas transferem para menor temperatura, sendo que quando tais superfícies estão separadas no espaço, mesmo que possua vácuo entre elas, por meio de ondas eletromagnéticas (calor radiante), transfere a energia utilizando a chamada irradiação térmica, com predomínio dos raios infravermelhos que viajam na velocidade da luz, sendo que a capacidade de um corpo emitir energia infravermelha chama-se emissividade ( $\epsilon$ ).

ÁLVARES (2008) ainda ressalta que a emissividade é uma grandeza adimensional varia entre 0 e 1 e o corpo que emite esse valor máximo nomeia-se corpo negro, contudo a emissividade não é uma propriedade muito simples de ser determinada. Assim, YAMACHITA (2013) comenta que quando não é possível realizar o ajuste da emissividade, a melhor opção é a estimativa da emissividade, que obtém-se por meio de tabelas preestabelecidas pelos fornecedores das câmeras térmicas.

Vale mencionar que uma importante vantagem da termografia citada por TARPANI (2008), é a rapidez na inspeção e na prévia da análise, uma vez que é uma técnica não destrutiva e as imagens são formadas em tempo real. Ademais, JUNIOR (2012) cita que essa técnica é segura tanto para o equipamento quanto para o inspetor, dado que o meio de geração dessa imagens, a câmera termográfica, não emite radiação prejudicial à saúde do profissional.

Segundo MALDAGUE (2002), contudo, mostra-se como desvantagem a dificuldade em imagens de grandes equipamentos, na medida em que as câmeras possuem capacidade limitada e a paleta de cores, que é a faixa de temperatura do equipamento, pode sofrer variações a partir de uma faixa máxima dada pelo fabricante, o que dificulta a interpretação.

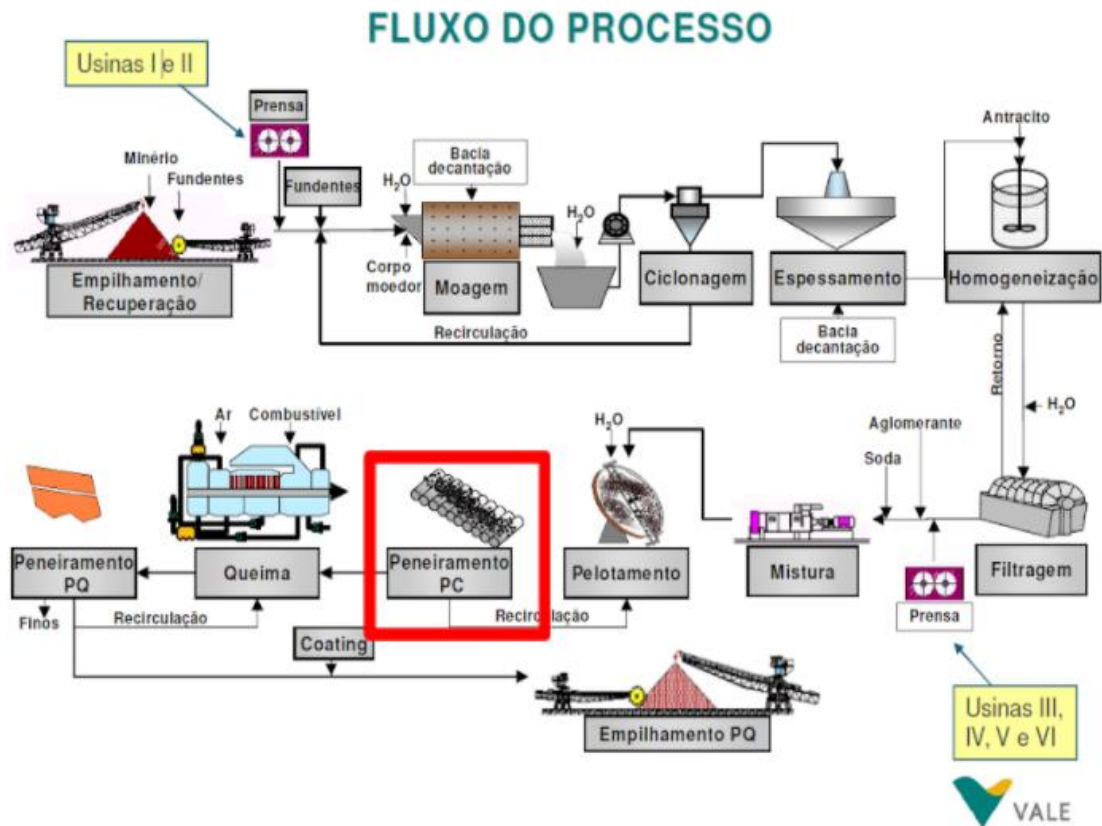
A termografia revela-se muito útil, tanto para localizar a área onde está o problema, como para indicar a causa do sobreaquecimento dos motores, dado que JÚNIOR (2010) menciona que, mesmo essa área não sendo visível, o calor é dissipado através do material e se apresenta na superfície do motor, e as câmeras termográficas pode detectá-lo.

# 1 HISTÓRICO DE FALHAS

## 1.1 Pelotização Vale

A pelotização é um dos principais processos de produção da Vale, iniciada em 1969, com a implantação da primeira usina no Complexo de Tubarão. As 11 usinas no Brasil ajudam a tornar a empresa líder mundial na exportação de minério de ferro e de pelotas, sendo que as usinas de 1 a 8 estão instaladas no Espírito Santo, o qual mantém o maior polo de pelotização do mundo (VALE, 2014). Nas Figuras 1 e 2 podem ser vistos detalhes do processo de peneiramento, local em que os motorreductores estão apresentando falhas.

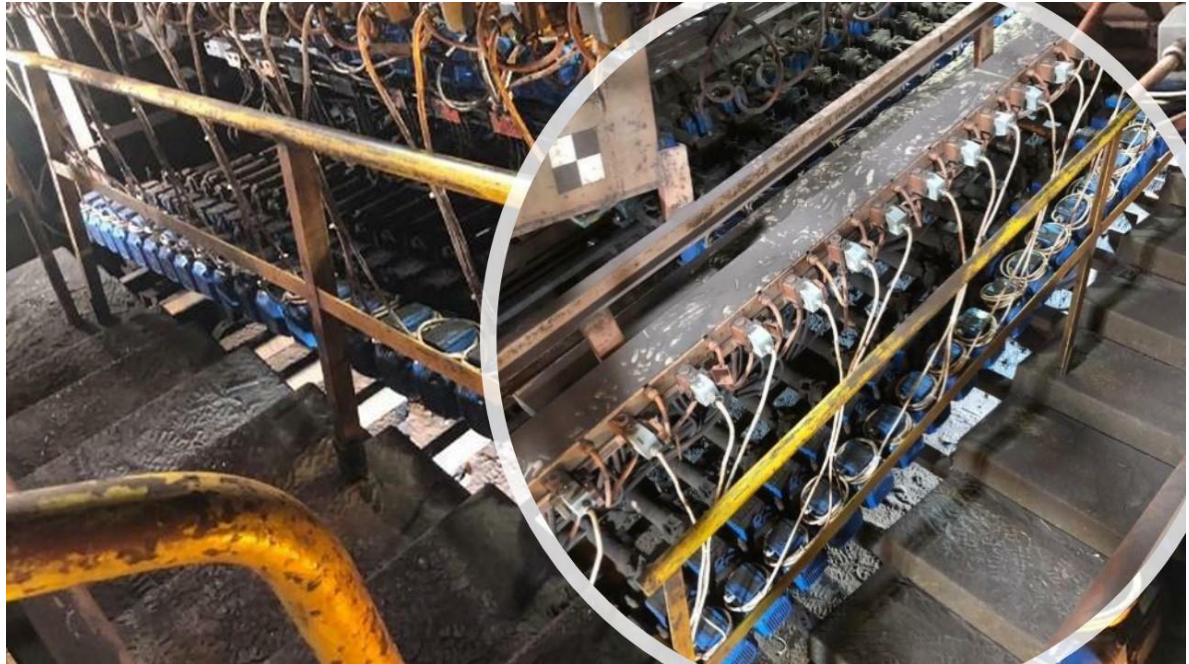
Figura 1 - Fluxo do processo de pelotização – Vale



Fonte: Dado interno da empresa (Vale).



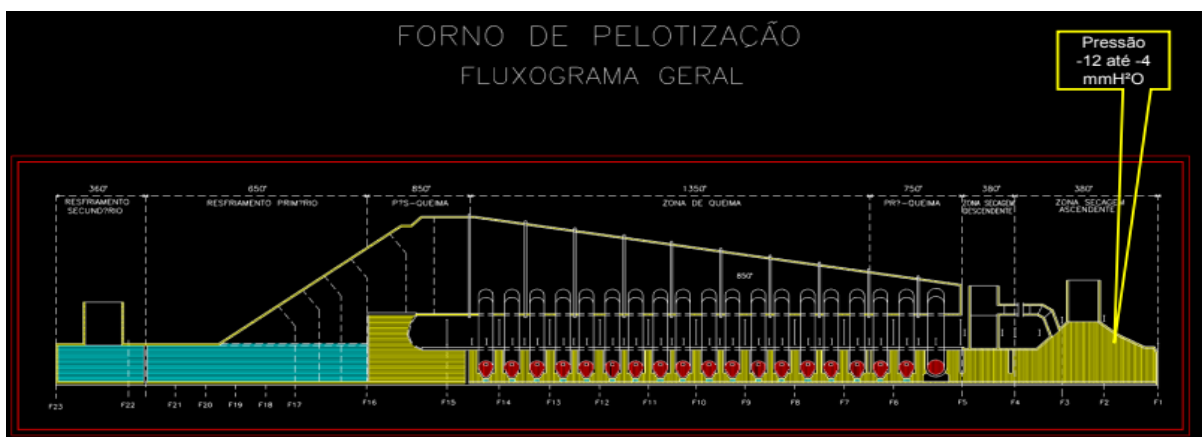
Figura 2 - Foto dos motores da peneira de rolos da Usina 6 (2019)



Fonte: Produção do próprio autor.

A peneira de rolos está localizada na entrada do forno e na zona de secagem ascendente - forno, trabalha com pressão, temperatura e vazão controlada. A região deve funcionar sob pressão negativa e sua principal função é secar a pelota, sem gerar fratura ou arraste. Na Figura 3 é mostrado o forno de pelletização.

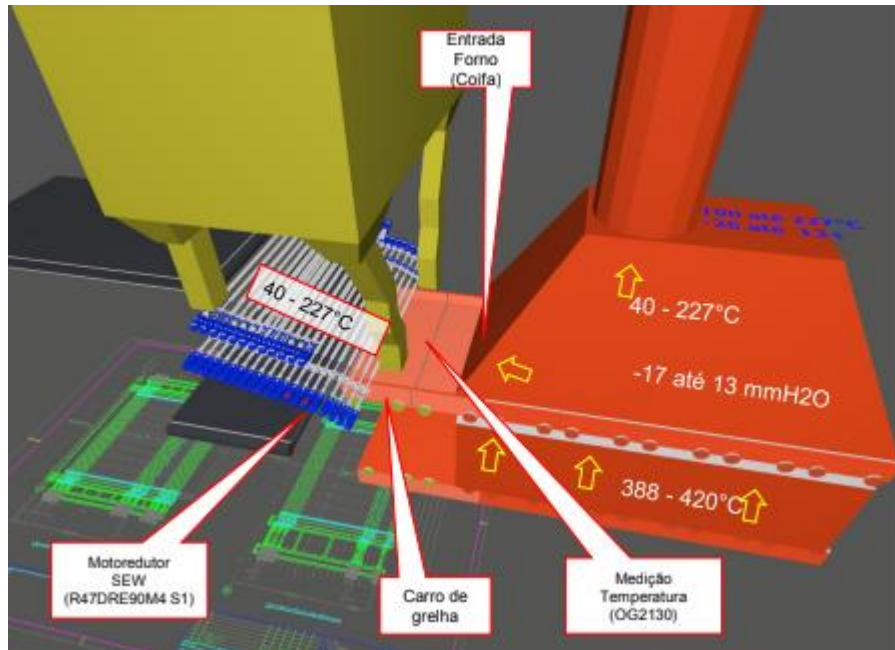
Figura 3 - Ilustração do fluxograma geral do forno de pelletização



Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

Na Figura 4 é exibida a visão superior do fluxo de produção do forno, onde sempre que houver desequilíbrio de temperatura, a energia térmica (calor) se propagará de um lugar de maior temperatura para outro de temperatura menor. Modos de propagação: Condução, convecção e irradiação. Importante observar que a peneira de rolos com os motoredutores estão próximos à entrada do forno.

Figura 4 - Visão superior sentido fluxo de produção do forno



Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

A partir de dados extraídos do sistema interno da Vale, em 2016 a pressão média foi de -5,3 mmH<sub>2</sub>O, nos anos seguintes, identificou-se que a pressão na zona da coifa ficava positiva em vários períodos, na operação do forno. A condição da pressão próxima de zero “0” emite uma quantidade alta de particulado na região do peneiramento, onde estão localizados os motores.

## 1.2 Perfil de Perdas - Usinas 5 A 7 (Manutenção Elétrica - 2019)

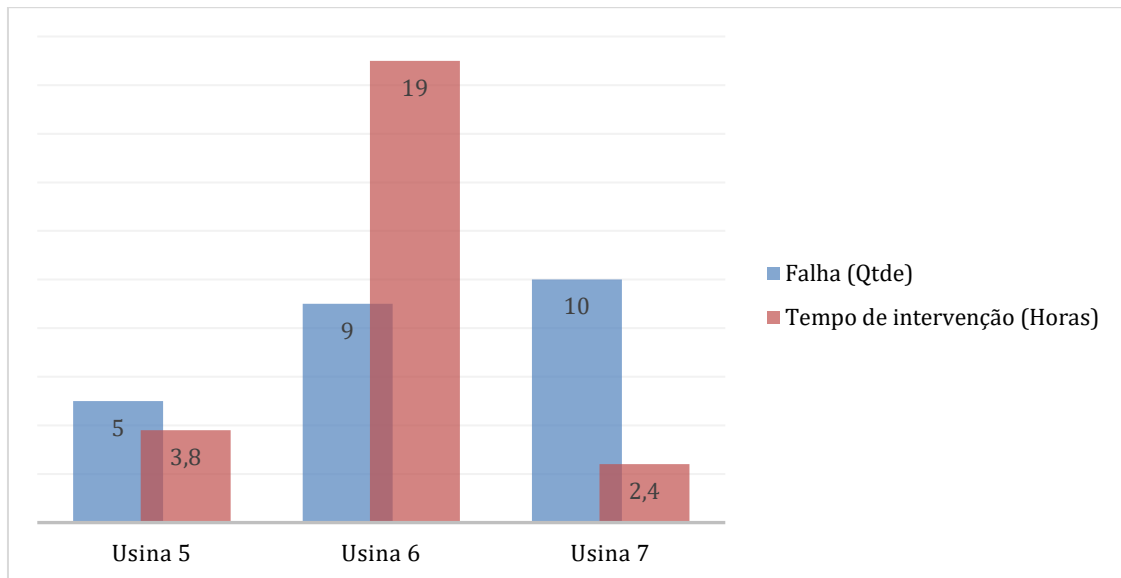
Ao analisar o histórico de falhas das usinas 5 a 7 (responsabilidade elétrica), por meio da base de dados retirada do sistema de Gestão de Produção Vale - Pelotização (GPV – PE) dos anos de 2015 a 2019, pode-se verificar que em relação a quantidade de eventos, o ativo que mais gerou falha foi a peneira de rolos da usina 7 (10 eventos), seguidos da Usina 6 (9 eventos) e Usina 5 (5 eventos).

Já em relação a duração dos eventos, o ativo que mais demandou tempo de intervenção foi a peneira de rolos da Usina 6 (19 horas), seguidos da Usina 5 (3,8 horas) e Usina 7 (2,4 horas).

As falhas recorrentes caracterizam-se basicamente em: Falha no Inversor (Usina 7), Rolamento Avariado, Falta de Fase e Cabo Rompido.

Abrangendo as especialidades (elétrica-mecânica-operação) no histórico do GPV Pelotização de 2015-2019, tem-se 78 eventos ocorridos nas peneiras de rolos das usinas 5 a 7, totalizando 131 horas. Na maioria dos casos, os eventos de falhas nos motores são influenciados por efeitos diversos como temperatura e contaminantes (óleo e particulado), conforme ilustrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Paradas de usinas devido à falhas elétricas na peneira de rolos, de 2015 a 2019 (quantidade falhas/ tempo de intervenção)



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 1.3 Falhas Ocorridas em 2019 e 2020 na Peneira de Rolos das Usinas 5 a 7

A partir dos dados retirados do sistema GPV-PE vistos no Quadro 1, pode-se analisar as informações das falhas ocorridas em 2019 e 2020 nas Peneiras de Rolos das Usinas 5 a 7, como: duração, data, equipamento, usina e as observações dos eventos. Desse modo, é possível realizar um estudo mais detalhado sobre cada caso.

Quadro 1 - Histórico de paradas corretivas nas peneiras de rolos das usinas 5 a 7, devido falhas em motores nos anos 2019 e 2020

(continua)

Usina	Data	Início	Duração	Eqpto	Observação
USINA 6	18/01/2019	23:38:11	0,36	PEVT- US6-PEL- CLASS- 6P32PR	Parada solicitada para troca do motorreductor do rolo M08 devido a queima. Em análise pela Elétrica. AF- V-3498"
USINA 6	19/01/2019	00:00:01	0,82	PEVT- US6-PEL- CLASS- 6P32PR	Parada solicitada para troca do motorreductor do rolo M08 devido a queima. Em análise pela Elétrica. AF- V-3498"
USINA 5	22/01/2019	10:52:43	1,09	PEVT- US5-PEL- CLASS- 5P32PR	Parada solicitada para troca do motorreductor do rolo M49 devido avaria no rolamento, (em análise pela elétrica AF-V-1826).
USINA 7	12/02/2019	23:37:06	0,38	PEVT- US7-PEL- CLASS- 7P32PR	Parada para substituição do motorreductor M09. Em análise pela elétrica, AF-V-4152
USINA 7	13/02/2019	00:00:01	1,86	PEVT- US7-PEL- CLASS- 7P32PR	Parada para substituição do motorreductor 7P32.M09. Em análise pela elétrica, AF-V-4152
USINA 6	10/05/2019	01:46:56	1,10	PEVT- US6-PEL- CLASS- 6P32PR	Usina parada para troca de motor com fase aberta no rolo M12. Em análise pela elétrica, AF-V-4152
USINA 6	13/09/2019	07:54:40	2,57	PEVT- US6-PEL- CLASS- 6P32PR	Avaria do isolamento do motor M4 em função da alta temperatura na entrada do forno (média 116°C). Em análise pela engenharia AF-V-4152.
USINA 6	13/09/2019	10:58:26	1,90	PEVT- US6-PEL- CLASS- 6P32PR	Parada devido emissão no pátio de pelotas. Projeção de finos para o forno em grande quantidade, pois o rolo ficou rodando invertido em função da parada do motor. Em análise pela engenharia AF-V-4152.
USINA 7	21/02/2020	23:53:48	0,10	PEVT- US7-PEL- CLASS- 7P32PR	Cabo de alimentação do motorreductor M25 com baixo isolamento em um dos condutores.
USINA 7	22/02/2020	00:00:01	0,89	PEVT- US7-PEL- CLASS- 7P32PR	Cabo de alimentação do motorreductor M25 com baixo isolamento em um dos condutores.

USINA 7	22/02/2020	03:49:35	1,01	PEVT- US7-PEL- CLASS- 7P32_25MX	Cabo de alimentação do motoredutor M25 com baixo isolamento em um dos condutores.
---------	------------	----------	------	---------------------------------------	---

Quadro 1 - Histórico de paradas corretivas nas peneiras de rolos das usinas 5 a 7, devido falhas em motores nos anos 2019 e 2020

(continuação)

USINA 5	29/02/2020	02:42:17	1,14	PEVT- US5-PEL- CLASS- 5P32_04M X	Curto no plugue de alimentação do motor do rolo M04 devido umidade. Material acumulado sobre os motores proveniente de recuperação com pá mecânica para camada de forramento, 5R1 com eixo avariado.
USINA 5	03/03/2020	23:28:37	0,35	PEVT- US5-PEL- CLASS- 5P32_04M X	Desarme do motor do rolo. Queda de água no plug
USINA 7	01/06/2020	13:35:11	3,87	PEVT- US7-PEL- CLASS- 7P32PR	Queima moto-redutor M23, devido vazamento de óleo para o motor. AF ANO782202005. 7P32 liberada 16:10h. 7Q3 - liberada 17:10h após avaria na janela de inspeção. 7Q7 - falha no inversor após troca reserva
USINA 6	10/07/2020	11:27:24	2,26	PEVT- US6-PEL- CLASS- 6P32_16M X	Parada usina para substituição do motoredutor M16, devido a vazamento de óleo do redutor e desarmes. Em análise pela Elétrica e Confiabilidade.
Total			20,15	Horas de duração	

Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

Com base nos dados disponibilizados na Tabela 1, pode-se calcular a perda potencial das usinas, considerando a perda anual média, produção por hora de cada usina, perdas em toneladas, margem de lucro, valor do dólar em 2020, assim encontra-se os dados da perda potencial em reais, conforme Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Demonstrativo de perdas da usina 7 (Média Anual)

Perda de horas anual média	Produção por Hora (toneladas)	Perda em toneladas	Margem (US\$/t)	Perda Potencial (US\$)	Valor do dólar em 2020	Perda Potencial (R\$)
4	86	321	19,84	6378,00	5,35	34122,31

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 2 - Demonstrativo de perdas da somatória das usinas 5 e 6 (média anual).

Perda de horas anual média.	Produção por Hora (toneladas)	Perda em toneladas	Margem (US\$/t)	Perda Potencial (US\$)	Valor do dólar em 2020	Perda Potencial (R\$)
6	604	3461	19,84	68670,01	5,35	367384,55

Fonte: Produção do próprio autor.

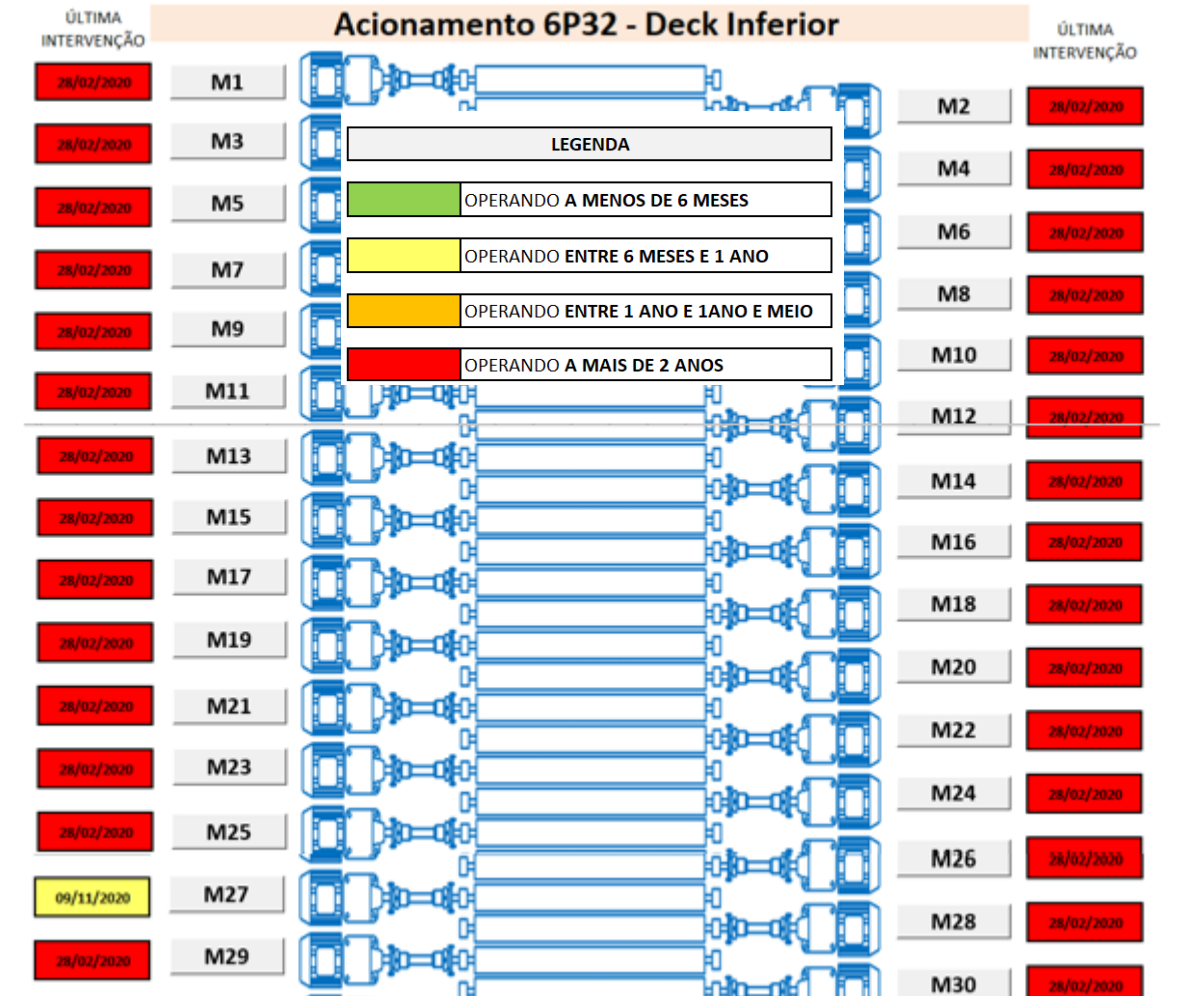
#### 1.4 Características dos Eventos

Algumas características apresentadas pelos motores avariados foram: Estator com impregnação de minério de ferro em seu interior; Desgaste dos retentores (principalmente dianteiros); Infiltração de óleo do redutor para o motor; Média da temperatura ambiente elevada, fator que agrava a degradação do conjunto; Baixo isolamento; Excesso de material particulado em suspensão na entrada do forno (sobre a peneira de rolos) e excesso de finos em determinados momentos percebidos pelo retorno e visivelmente na queda sobre a correia principal (Dados internos da empresa).

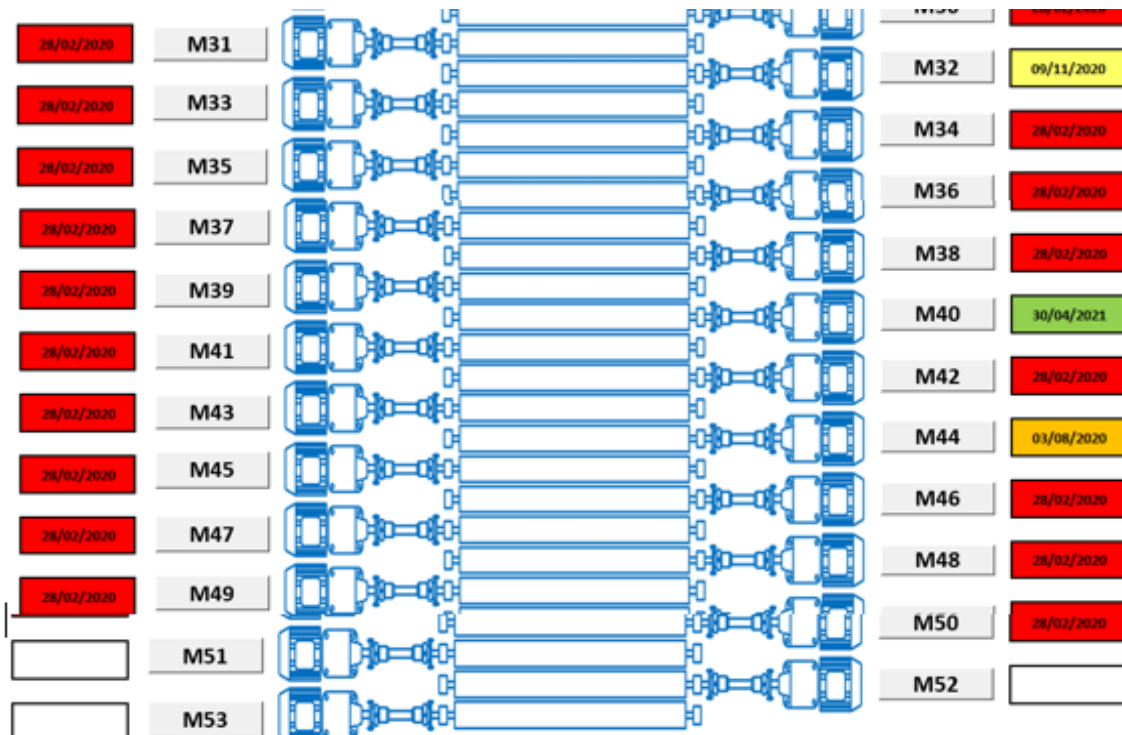
##### 1.4.1 Controle de Substituições de Motores – Usina 6

De acordo com o histórico de falhas ilustrado no Quadro 1 e os dados do controle de substituições de motores dos inspetores (Figura 5), a usina 6, em relação às usinas 5 e 7, é a que apresenta maiores problemas com os motores da peneira de rolos, por causa da alta temperatura na saída do forno, visto na Figura 5. Tais dados demonstram que ocorrem muitas substituições de motores em prazos menores que dois anos, enquanto nas outras usinas os equipamentos citados apresentam vida útil maior. Devido a esse cenário, ilustra-se as substituições de motores das peneiras de rolos da usina 6, como visto na Figura 5.

Figura 5 - Histórico de substituições de motores da peneira de rolos da usina 6







Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

#### 1.4.2 Fatores Que Influenciam no Desempenho dos Motores

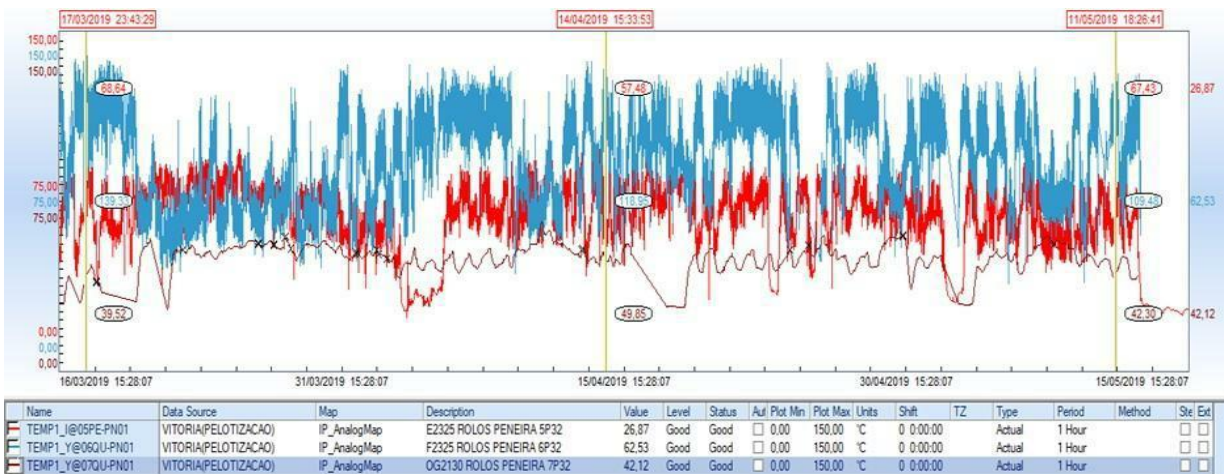
##### a) Temperatura

O excesso de perda de gases quentes da caixa de ventiladores de secagem ascendente resulta na alta temperatura no acionamento das grelhas das usinas 5 a 7. Com isso, ocasiona incidência de temperatura nos rolos e motoredutores das peneiras de rolos.

Na Figura 6 pode ser visto, a partir da tela do sistema PIMS (Sistema de Gestão de Informações de Processos) a alta temperatura no acionamento das grelhas das usinas 5 a 7.

Figura 6 - Tela do PIMS com as temperaturas do forno de cada Usina (2019)

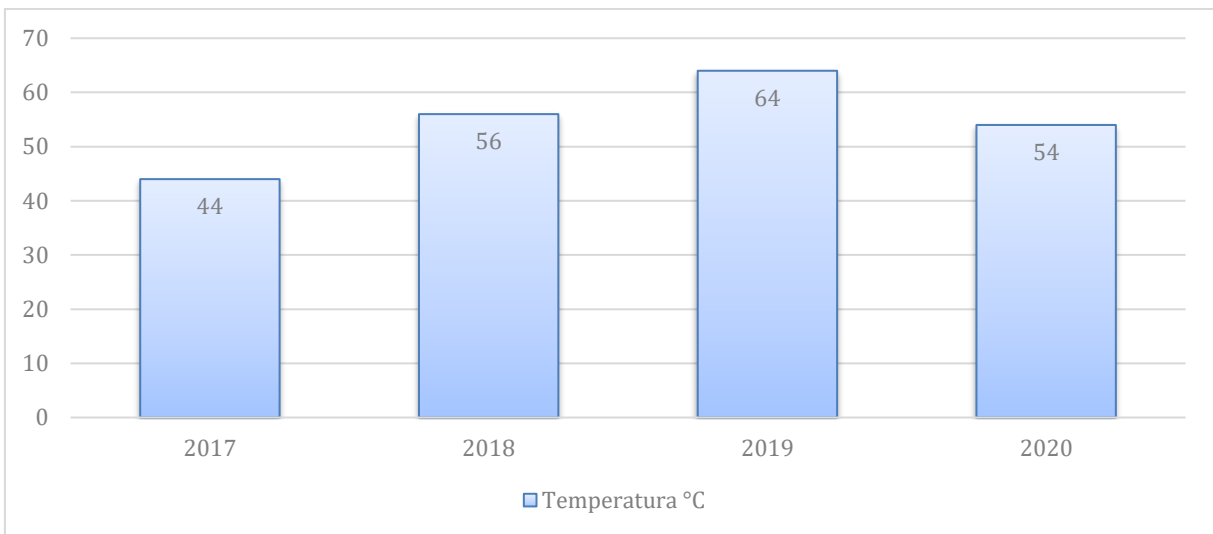




Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

A temperatura de exposição dos componentes na Usina 7, é de 40 a 100°C, não sendo a faixa identificada no projeto original. Os picos podem variar de 150 a 227°C na região da coifa, com média de 54,5°C, de acordo com dados coletados entre 2016 a 2020, conforme visto no gráfico 2.

Gráfico 2 - Temperatura na região da Peneira de Rolos



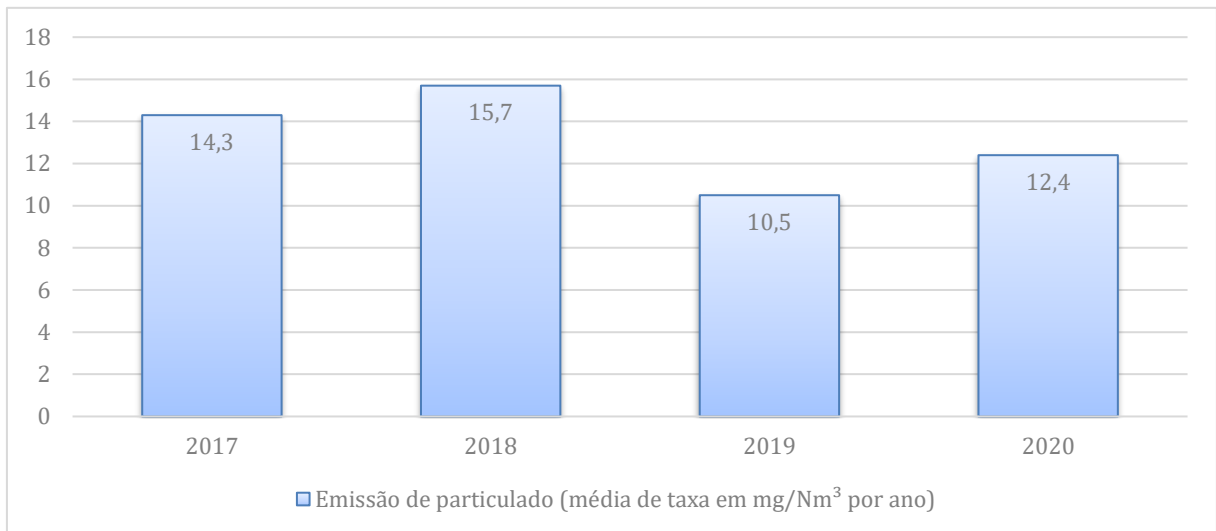
Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

b) Particulado – Usina 7

No ano de 2020, a Usina 7 apresentou mais falhas na peneira de rolos ao comparar com as usinas 5 e 6. Com isso, foram analisados dados de emissão e taxa de particulados nos anos de 2016 a 2020 para a usina em questão.

Nos últimos anos a média de emissão de particulado está aumentando, em 2016 foi 11,8 mg/Nm<sup>3</sup>. Este particulado, possui ação direta na coifa, e por consequência na região da peneira de rolos, visto no Gráfico 3.

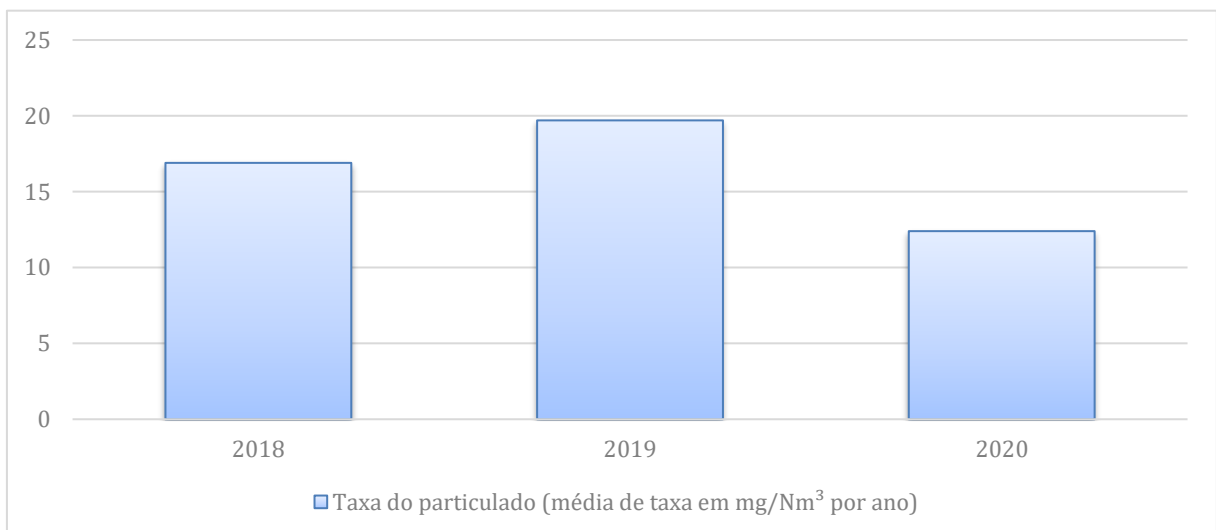
Gráfico 3 - Emissão de particulado nos anos de 2017 a 2020 (Média da taxa em mg/Nm<sup>3</sup> por ano).



Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

A taxa de particulado possui registro no sistema PIMS a partir de 2018, não sendo possível comparar com os anos de 2016 e 2017, visto no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Taxa de particulado (Média da taxa em mg/Nm<sup>3</sup> por ano)



Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

c) Pressão – Usina 7

Ainda considerando a usina 7 como modelo na análise dos dados, em 2016 a pressão média foi de -5,3 mmH<sub>2</sub>O. Nos anos seguintes, identifica-se que a pressão na zona da coifa fica positiva em vários períodos na operação do forno. A condição da pressão próximo de zero “0”, emite um volume visível, com alta quantidade de particulado na região da peneira. Grande parte do “pó” é proveniente da camada de forramento, silo da Usina 7. No Gráfico 5 pode ser visto a média de pressão da malha nos anos de 2017 a 2020.

Gráfico 5 - Média de pressão da malha, secagem ascendente



Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

## 2 ANÁLISES

Baseado na análise de falha do motor da M23 da 7P32 em 2020 e ao realizar um estudo referente às falhas na peneira de rolos nos últimos 5 anos, notou-se diversos modos de falha em todos os seus componentes. Essas análises têm o intuito de realizar o tratamento da falha nos motoredutores, em especial do deck inferior, que no período de 2016 a 2020 houve um crescimento significativo de manutenção preventiva e corretiva.

Ao verificar o projeto da peneira de rolos, observou-se que houve mudanças físicas no decorrer dos anos. O projeto inicial foi realizado pela Hyundai em 1997. Em 2016, os projetos da Outotec e da Sereng informam que o projeto está conforme construído, contudo não condiz com a instalação física na área. Vale ressaltar que houve várias modificações que não foram identificadas no sistema utilizado pela empresa para registrar os projetos e que não foi identificado um documento conceitual ou básico antes de 2016. Percebe-se, então, que a partir desse ano, por haver modificações estruturais, foram quantificadas um maior número de falhas nos motores.

Essas avarias devem-se à alta contaminação por pó e a elevação de temperatura, gerando a expansão do óleo, que é uma condição normal, desde que esteja dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante e pelo projeto - que não é o caso dos motoredutores instalados. A análise dos fatos e dos dados demonstra que, no período de 2016 até 2020, os motoredutores foram submetidos a temperaturas superiores a 60°C e alta contaminação por particulado, em função da pressão positiva no forno, gerando o aumento significativo do custo de manutenção. Sendo assim, a causa raiz primária é o projeto de “Segregação de Pelotas P1514A e P1514”, que não dimensionou um motoredutor para trabalhar em condições severas. Já a causa secundária são os desvios no controle de pressão, que, por consequência, geram uma alta concentração de pó, e a propagação da energia térmica, por condução e por irradiação para a estrutura e para o ambiente da peneira de rolos (Dados interno da empresa - Vale).

Na tabela 3 podem ser vistos as médias de pressão, temperatura, emissão de particulado e taxa de particulado de 2017 a 2020. Conforme citado nos históricos de falhas. Abaixo encontram-se os dados:

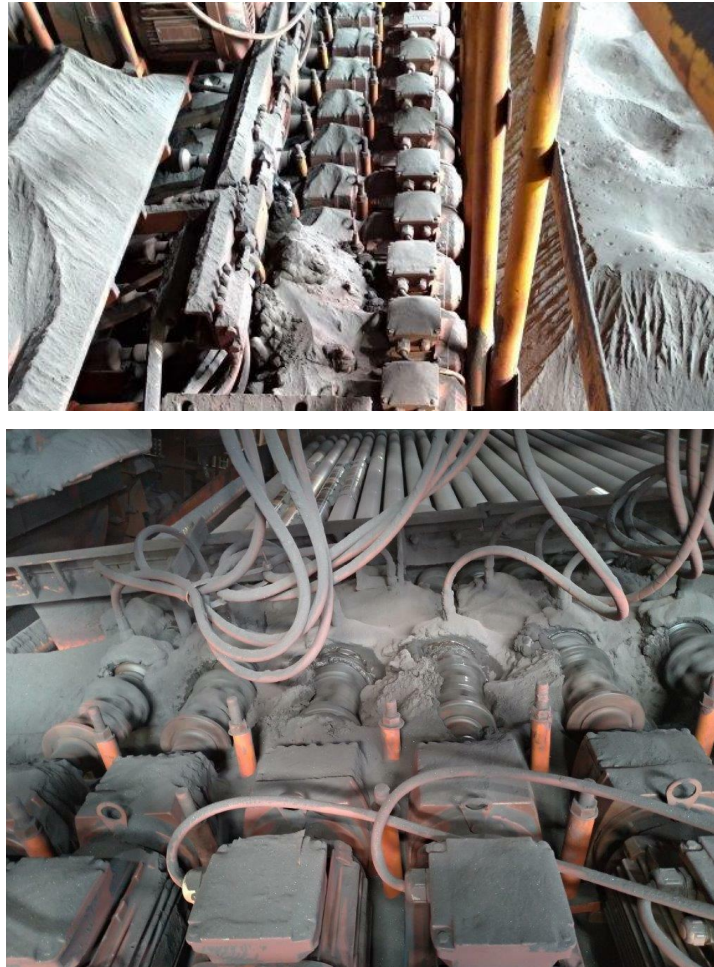
Tabela 3 - Dados de condições meteorológicas da região da peneira de rolos da usina 7

	Média de pressão da malha (mmH2O)	Emissão de particulado (Média da taxa em mg/Nm <sup>3</sup> por ano)	Taxa de particulado (Média da taxa em mg/Nm <sup>3</sup> por ano)	Temperatura média (°C)
2017	-5,4	14,3	-	44
2018	-1,3	15,7	16,9	56
2019	-5	10,5	19,7	64
2020	-10,2	12,4	13,1	54

Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

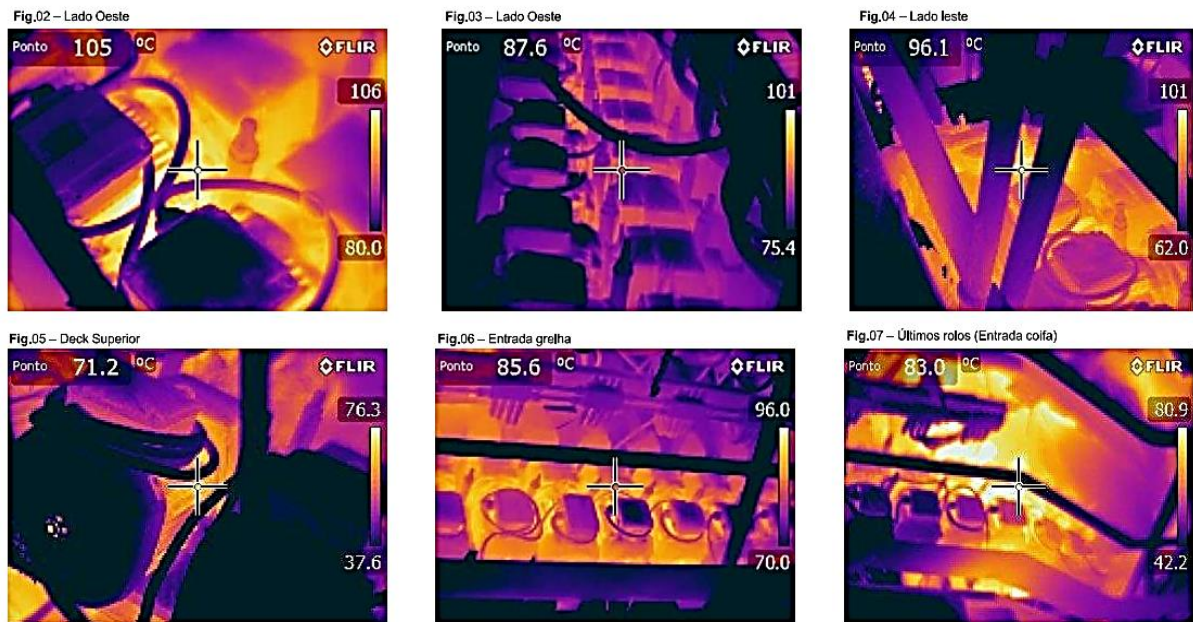
Com base nos dados informados, nota-se que os motores estão submetidos a uma alta temperatura e grande acúmulo de particulado, como pode ser visto na Figura 7 e 8.

Figura 7 – Motores da peneira de rolos da usina 7



Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

Figura 8 – Imagens das inspeções termográficas dos motores



Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

Outrossim, baseado no histórico de paradas de usina de 2021 (Dados interno da empresa - Vale), não tiveram paradas corretivas ocasionadas por falhas nos motoredutores, no entanto isso se deve ao fato de ter intensificado a inspeção termográfica (conforme Figura 8) e as intervenções condicionais. Isso porque a inspeção elétrica tem intensificado o monitoramento, utilizando a técnica de termografia e de inspeção auditiva “estetoscópica”, para que consiga antecipar e evitar falhas prematuras desses motoredutores.

No entanto, também é importante pontuar que nesse período a usina parou por algumas vezes para manutenções preventivas, inclusive para substituição dos motores, e devido à falta de minério. Isso acarretou a diminuição do tempo de operação.

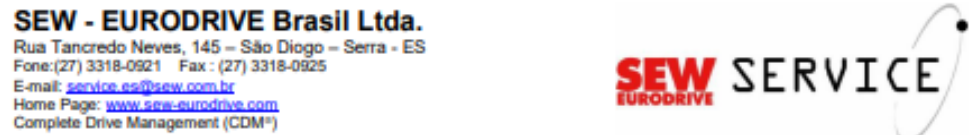
Mesmo assim, a partir desse novo cenário, observa-se que algumas intervenções, que ocorreram entre fevereiro de 2020 e agosto 2021, evitaram falhas prematuras e suas consequentes paradas da usina de maneira corretiva. Isso porque realizou-se a substituição de 03 motoredutores na usina 7 com aquecimento anormal (vistos na inspeção termográfica) e de 02 motoredutores com avaria no bloco de ligação do motor (manutenção condicional /retorno da execução) (Dados interno da empresa - Vale).

A fim de reduzir as falhas encontradas nos motores da peneira de rolos das Usinas 5 a 7, no final do ano de 2019 foi especificado, pelo engenheiro Rogério Dutra, um motoredutor com algumas características técnicas mais robustas, estator encapsulado e caixa de ligação resinada.



Desse modo, foram comprados 8 motores para teste, os quais foram instalados nos pontos mais críticos da peneira de rolos da usina 6 no final de julho de 2021 e estão sendo monitorados. Na Figura 9 e 10 encontram-se as especificações técnicas e as imagens do motor.

Figura 9 - Especificações técnicas do motor.



### Folha de dados técnicos

**Equipamento: R47DRN90SP4**

**Redutor: R47**

**Redução: 16,22**

**Forma construtiva: M1/M5**

**Torque na saída: 136 Nm**

**Fator de serviço: 2,0**

**Óleo lubrificante: sintético CLP 220**

**Estudo de fabricação para redutor: R020/05**

**Vedação no eixo de saída:** Selo rotativo Chesterton 30K AWC300 - faixa de temperatura operacional de até 150° C

**Motor: DRN90SP4**

**Com estator encapsulado e caixa de ligação resinada**

**Potência: 1,5 KW**

**Fator de duração do ciclo: S1**

**Tensão do motor: 220/440 V**

**Índice de proteção: IPW66**

**Classe de temperatura: F**

**Rendimento: 86,5 %**

**Estudo de fabricação para motor: DR13514**

**Rotor:** com tratamento de têmpera por indução no lado A (redutor) e bucha speedy sleeve no lado B (ventoinha).

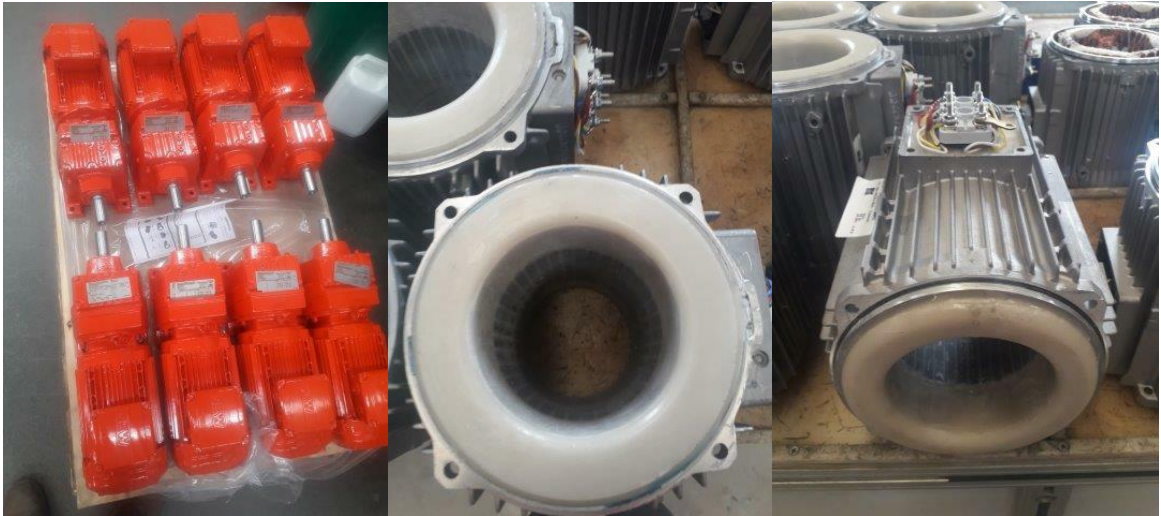
**Rolamento posição 11(lado do redutor):** rolamento de esferas 6305-2RS-C3

**Rolamento posição 44(lado da ventoinha):** rolamento de esferas 6205-2RS-C3

**Retentores:** com mola, material viton – temperatura admissível 160° C

Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

Figura 10 - Imagem dos motoredutores instalados na Usina 6



Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

Tendo em vista essa discussão acerca da manutenção preventiva, apresenta-se algumas medições estáticas que são de extrema importância para verificar a condição do motor, como descritas abaixo:

- Medição de resistência ôhmica

Finalidade: Verificar se o valor da resistência está equilibrado e/ou de acordo com a especificação de fábrica.

- Resistência de isolamento

Finalidade: Verificar a condição do isolamento, quando se deseja um resultado quantitativo e o seu registro.

- Índice de absorção e índice de polarização

Finalidade: Verificar as condições da resistência de isolamento, medindo a isolação do enrolamento em relação à massa metálica do motor. O motor estando limpo e em boas condições, o índice de polarização é alto, o motor com sujeira, umidade e/ou graxa na bobinagem, o valor do índice de polarização é baixo. Os índices de polarização e absorção podem ser vistos nos quadros 2 e 3.

Os valores dos quadros 2 e 3 estão de acordo com a Norma NBR 5383-2 da ABNT.



Quadro 2 - Índice de polarização

ÍNDICE DE POLARIZAÇÃO			
<i>Entre</i>	0	1	<i>Perigoso</i>
<i>Entre</i>	1	1,5	<i>Pobre</i>
<i>Entre</i>	1,5	2	<i>Questionável</i>
<i>Entre</i>	2	3	<i>Confiável</i>
<i>Entre</i>	3	4	<i>Bom</i>
<i>Maior que</i>	4		<i>Excelente</i>

Fonte: Testando Motores, 2021

Quadro 3 - Índice de Absorção

ÍNDICE DE ABSORÇÃO			
<i>Entre</i>	0	1	<i>Perigoso</i>
<i>Entre</i>	1	1,1	<i>Pobre</i>
<i>Entre</i>	1,1	1,25	<i>Questionável</i>
<i>Entre</i>	1,25	1,4	<i>Confiável</i>
<i>Entre</i>	1,4	1,6	<i>Bom</i>
<i>Maior que</i>	1,6		<i>Excelente</i>

Fonte: Testando Motores, 2021

- Grau de tensão

Finalidade: Medir a rigidez dielétrica do isolamento. Mede-se a corrente de fuga para assegurar que o isolamento da terra e as espiras suportam o trabalho normal durante a partida e parada do motor (picos de tensão).

- Surge Test

Finalidade: Verificação da condição das bobinas através da comparação das fases. Detecta curto-circuito na bobinagem e erros de ligação.

A empresa possui um equipamento chamado Analisador Avançado de Resistência de Isolamento (AWA), que realiza todas as medições estáticas citadas acima. Por isso, uma boa prática seria incluir no plano de manutenção preventiva a inspeção dos motores utilizando o AWA. Vale lembrar que talvez essa ação não seja viável devido ao tempo que exigirá para realizar os testes em todos os motores. Comenta-se, por fim, que atualmente está sendo realizado o teste de resistência de isolamento e resistência ôhmica (equilíbrio de bobinas).

Outras sugestões para resolução do problema abrangem a modificação da estrutura realizando um afastamento do acionamento para as laterais e/ou acionamento por correntes com a utilização de menos motores, no entanto essas alterações possuem um custo de investimento muito alto, inviabilizando as propostas.

Desse modo, ao analisar o cenário que encontram-se os motoredutores das peneiras de rolos das usinas 5 a 7, observa-se que as causas raízes das falhas são a elevação de temperatura e a obstrução do pino de alívio de pressão no motor. Ambos os problemas são em função da retenção de material particulado na coifa de entrada do forno, que tem como propósito minimizar a emissão de particulado para atmosfera. Então, avaliando essas causas e a viabilidade das soluções propostas, definiram-se algumas ações de curto a médio prazo (Engenheiro da Vale - Fabrício Pereira)

## **2.1 Ações propostas**

- Manutenção da pressão negativa na zona da coifa.
- Revisão da manutenção preventiva, da prioridade, da rota de inspeção e do plano de substituição dos motoredutores.
- Relocar ponto de medição da temperatura da região da peneira.
- Incluir ponto de monitoramento das malhas de temperatura e de pressão (Engenheiro da Vale - Fabrício Pereira).

Abaixo encontra-se um motor especificado pelos engenheiros responsáveis pelo ativo para diminuir o impacto da temperatura e particulado, aos quais os motores são submetidos (Engenheiro da Vale - Fabrício Pereira).

Item	Descrição	Un.	Especificado
1	<b>Identificação</b>		
	Fabricante	-	SEW
	Modelo	-	RH7DRN90L4/TF
	Local	-	FENEIRA DE ROLOS
	Quantidade	un.	01
2	<b>Condições de Operação</b>		
	Ciclo de trabalho(h/dia/ ; dias/semana ; dias/ano)	-	24/7/340
	Serviço ( pesado; médio; leve)	d/a	Pesado
	Temperatura Ambiente	°C	Máx. 100/ Mín. 20
	Altitude	m	Aprox. 20
	Ambiente (poeirento; úmido; corrosivo)	-	Poeirento e úmido
3	<b>Características do motoredutor</b>		
	Rotação de entrada	RPM	1787
	Rotação de saída	RPM	109
	Posição de montagem	-	M1/M5 - 15°
	Redução Exata	-	16,22
	Torque de saída	Nm	136
	Torque de saída máximo	Nm	272
	Fator de serviço	-	2,00
	Diâmetro do eixo de saída	-	30 mm
	Descrição do sistema de lubrificação	-	SALPICO
	Acessórios	-	termistor /TF
	Peso Total	Kg	36 kg
	Pintura e proteção e acabamento	-	azul
	Óleo Tipo	-	CLP HC220 - sintético 220
	Óleo Volume	Litro	0,85
	Potência do motor	KW	1,5
	Tensão do motor	V	1
	Frequência	Hz	60
	Índice de proteção	P	W66
	Classe de temperatura	-	Estator classe H/ conjunto classe F
Posição de entrada cabo caixa terminal	°	0 (D)/X	
Posição de eixo	°	não se aplica	
Tensão de freio	V	não se aplica	
Torque de frenagem	Nm	não se aplica	
4	<b>Notas</b>		
	<p><b>Motoredutor com estudos de fabricação especiais SEW com as seguintes características:</b></p> <p><b>*Estudo para motor:</b> EF DR15093 (estator com bobinamento encapsulado, rolamentos duplamente vedados, rotor com têmpera por indução no lado A e preparado para bucha speedy sleeve no lado B, retentor com mola no lado da ventoinha e dois retentores com mola no flange que monta do redutor, bucha speedy sleeve no lado B).</p> <p><b>*Estudo para redutor:</b> EF R020/05 (Selo rotativo Chesterton 30K AWC300 no eixo de saída).</p> <p>*Fornecer redutor com 2 válvulas de respiro.</p> <p>*Motor com proteção térmica do tipo termistor/TF. Outra opção é o fornecimento do motor com sensor do tipo PT100 para detecção de temperatura (designação /PT).</p> <p>*Fornecer motor com cabo de silicone 4x</p>		

Fonte: Dado interno da empresa (Vale).

Os motoredutores utilizados são da SEW classe F/B que suportam 155° de sobrelevação, no entanto a partir de 120° a vida útil desses equipamentos reduz drasticamente. As falhas observadas são devido à elevada temperatura a qual os equipamentos são submetidos. Assim, aquecendo o óleo e o redutor, ocasionando o vazamento do óleo pelo retentor ou pela gaxeta.

A expansão do óleo é uma condição normal, desde que esteja dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante do projeto.

Outra avaria comum com o aumento da temperatura são os cabos de alimentação dos motoredutores com baixo isolamento dos condutores. Essa falha deve-se ao fato do ressecamento do fio nas caixas de ligação.

O engenheiro e professor José Luiz Borba (Engenheiro da Vale) propôs algumas soluções a curto e longo prazo.

- Substituir os motores por classe H/B, que aguentam 180° de sobreelevação;
- Substituir o óleo lubrificante por uma graxa aditivada, que por ser mais densa, menor será a expansão do líquido e, assim, reduzirá a temperatura do equipamento;
- Eliminar as caixas terminais, realizando uma solda para unir os fios e os isolar com um tubo de fibra de vidro.

No entanto, ao considerar uma solução a longo prazo e mais efetiva, a melhor opção seria remover os redutores de velocidade e utilizar motores de baixa frequência (20Hz) da WEG. Dessa maneira, com o torque baixo, o equipamento aguentará melhor a temperatura alta. Além disso, esses motores poderão ser alimentados com apenas um inversor. Outra possibilidade seria utilizar motoredutores da Sumitomo, conhecido pela confiabilidade e pelo desempenho excepcionais, que oferecem a melhor relação de torque, sendo, então, mais resistente (Engenheiro e professor – José Luiz Borba). No entanto, como uma das causas raízes é a alta temperatura e como o motor é autoventilado, com uma menor frequência esse será menos refrigerado, logo não sendo viável para a situação desses motoredutores.

Os planos de manutenção auxiliam em um bom acompanhamento das condições dos equipamentos e a evitarem falhas prematuras. Os motores das peneiras de rolos possuem dois itens de manutenção (dentro de um plano de manutenção podem ter vários itens de manutenção) com prazos para executar as ordens de serviço de 96 semanas e de 192 semanas. No entanto, para um ativo que possui tantos registros de falhas, as manutenções preventivas deveriam ser realizadas em no máximo 52 semanas. Além disso, é necessário corrigir algumas descrições desses planos de manutenção, pois são genéricas e especificam apenas um motor da peneira de rolos, sendo que tem mesa que possui mais de 50 motores, o que dificulta, muitas vezes, a realizar análises sistêmicas e orçamentárias. Outra ação interessante, como já citado, é acrescentar nas manutenções preventivas testes utilizando o AWA.

No Quadro 5 e Figura 11 podem ser ilustradas as problemáticas encontradas no plano de manutenção existente.

Quadro 5 - Descrição de alguns dados do plano de manutenção da região da peneira de rolos das usinas 5 a 7.

PLANO DE MANUTENÇÃO	384694	385005	385005	385643	385643
ITEM DE MANUTENÇÃO	609535	741320	502395	742262	503106
	5P32	6P32 INFERIOR	6P32 SUPERIOR	7P32 INFERIOR	7P32 SUPERIOR
1	O plano inclui 24 itens, incluindo mecânica, elétrica e lubrificação.	O plano inclui 24 itens, incluindo mecânica, elétrica e lubrificação.	O plano inclui 24 itens, incluindo mecânica, elétrica e lubrificação.	O plano inclui 24 itens, incluindo mecânica, elétrica e lubrificação.	O plano inclui 24 itens, incluindo mecânica, elétrica e lubrificação.
2	A última Ordem de Manutenção elétrica nos motores da 5P32, 201804947139, foi gerada em 27/12/18, executada e encerrada em 05/02/19.	A última Ordem de Manutenção elétrica nos motores da 6P32 deck inferior, 201803901679, foi gerada em 15/10/18, executada em 11/05/19 e encerrada em 21/05/19.	A última Ordem de Manutenção elétrica nos motores da 6P32 deck inferior, 201803901720, foi gerada em 15/10/18, executada em 11/05/19 e encerrada em 21/05/19.	A última Ordem de Manutenção elétrica nos motores da 6P32 deck inferior, 201803572429, foi gerada em 19/09/18, executada e encerrada em 3/09/19.	A última Ordem de Manutenção elétrica nos motores da 6P32 deck inferior, 201803572428, foi gerada em 19/09/18, executada e encerrada em 3/09/19.
3		O local de instalação do item está para um único motor, representando os 27 motores do deck inferior. Isto pode interferir em análise de custo por ativo.	O local de instalação do item está para um único motor. Isto pode interferir em análise de custo por ativo.	O local de instalação do item está para um único motor, representando os 37 motores do deck inferior. Isto pode interferir em análise de custo por ativo.	O local de instalação do item está para um único motor. Isto pode interferir em análise de custo por ativo.
4	A lista de operações está em desacordo com o PRO-026192 - Anexo 2, tópico 6.1	A lista de operações está em desacordo com o PRO-026192 - Anexo 2, tópico 6.1	A lista de operações está em desacordo com o PRO-026192 - Anexo 2, tópico 6.1	A lista de operações está em desacordo com o PRO-026192 - Anexo 2, tópico 6.1	A lista de operações está em desacordo com o PRO-026192 - Anexo 2, tópico 6.1

Fonte: Dados retirados do sistema SAP.

Figura 11 - Ilustração do início do Anexo 2, tópico 6.1 do PRO-026192 (Procedimento - Métodos de trabalho das atividades do PCM e PCO)

Planejar efetivo e duração	6.1 - Padrão de Preenchimento das Operações (CTRB = Centro de Trabalho)
	Contemplar na VPTS dentro do campo observações o seguinte texto:
	É OBRIGATÓRIO PREENCHER AS DOCUMENTAÇÕES PERTINENTES AS ATIVIDADES (TAIS COMO ART, IT, PTS E DEMAIS DOCUMENTOS CONFORME NECESSIDADE); CERTIFICAR QUE OS EMPREGADOS ESTÃO TREINADOS E HABILITADOS A EXECUTAREM ATIVIDADES RELACIONADAS ÀS RAC QUE SÃO INERENTES A ATIVIDADE; VERIFICAR ROTAS DE FUGA E PONTOS DE ENCONTRO PRÓXIMOS AO LOCAL DE REALIZAÇÃO DA ATIVIDADE; RAMAL DE EMERGÊNCIAS: 111 OU 3333-5190 DO CELULAR (ACEITA LIGAÇÃO A COBRAR).

Fonte: Dados retirados do sistema SISPAV

Vale ressaltar que, apesar do plano de manutenção ser bienal, o inspetor Guilherme Dias abre ordens de manutenções condicionais para realizar testes nos motores durante esse intervalo de tempo, sendo, entretanto, de grande importância que essas verificações estejam previstas como manutenções preventivas com um prazo menor.

A Figura 12 demonstra alguns itens que estão dentro da manutenção preventiva da região da peneira de rolos da usina 6 deck inferior.

Figura 12 - Itens do plano de manutenção

Oper	SOp	CenTrab	Ce...	Ch...	ChvMo...	C..	Txt.breve operação	TD	Trabalho real	Trab.	Un	N...	Dur.
0010		S054TE	1090	PM01		3	MP. ELETRICA EM 19 MOTOR ELET GAIOLA BT		2,400	3,2H	2		1,6
0020		S054	1090	YPM0		3	BLOQUEIOS DAS FONTES DE ENERGIA		0,000	0,0	0		5
0030		S054	1090	YPM0		3	MP. CAIXA LIGACAO E ISOLADORES		0,000	0,0	0		380
0040		S054	1090	YPM0		3	MEDIR RESIST ISOL. ESTATOR		0,000	0,0	0		380
0050		S054	1090	YPM0		3	MEDIR RESIST OHM ENROLAMENTOS		0,000	0,0	0		190
0060		S054	1090	YPM0		3	MP. CONEXOES ELETRICA CX. LIGACAO		0,000	0,0	0		190
0070		S054	1090	YPM0		3	MP. ATERRAMENTO E CONEXOES MOTOR		0,000	0,0	0		190
0080		S054	1090	YPM0		3	MP. VEDACAO CAIXA LIGACAO		0,000	0,0	0		190
0090		S054	1090	YPM0		3	DESBLOQUEIO DAS FONTES DE ENERGIA		0,000	0,0	0		5
0100		S054	1090	YPM0		3	VERIFICAR DIAGRAMAS ELETRICOS E MANUAIS		0,000	0,0	0		5
0110		S054	1090	YPM0		3	REGISTRAR DADOS P. HISTORICO DA MANUT.		0,000	0,0	0		5

Fonte: Dados retirados do sistema SAP.

Ademais, para a elaboração de um plano de manutenção, vários fatores são levados em consideração, como o tempo gasto para realização das atividades previstas, calendário de parada de usina, criticidade das falhas no ativo, materiais utilizados para realização da atividade, segurança do ativo e das pessoas, entre outros pontos.

A partir das propostas de alteração do prazo e adição do teste realizado com o AWA no plano de manutenção, pode-se analisar, por meio da Figura 13 (Swot), parâmetros coletados e estudados neste projeto.

Figura 13 – SWOT - análises do planejamento estratégico de algumas propostas.

<p><b>FORÇAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamentos de medição de ótima qualidade;</li> <li>• Planos de manutenção;</li> <li>• Estoques de motoredutores;</li> <li>• Preocupação com a segurança das pessoas e dos ativos.</li> </ul>	<p><b>FRAQUEZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta temperatura encontrada na entrada do forno.</li> <li>• Pressão positiva no forno.</li> <li>• Trabalho excessivo;</li> <li>• Espera;</li> <li>• Custos excessivos.</li> </ul>
<p><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagnósticos mais precisos e preventivos;</li> <li>• Menor número de falhas;</li> <li>• Disponibilidade física dos equipamentos;</li> <li>• Segurança das pessoas e dos ativos.</li> </ul>	<p><b>AMEAÇAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de capital para investimento;</li> <li>• Falta de mão de obra;</li> <li>• Falta de contratos com alguns fornecedores;</li> <li>• Acúmulo de particulado.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3 CONCLUSÃO

O estudo abordado enfatiza a necessidade de procedimentos preventivos, como a inspeção e manutenção dos motoredutores.

A intensificação da inspeção termográfica e as intervenções condicionais, teve como consequência um ganho considerável em custo de manutenção, visto que no ano de 2021 as usinas 5 a 7 não pararam corretivamente por falhas nos motoredutores, aumentando a disponibilidade e, conseqüentemente, a produção em relação ao ano anterior. Com a redução das manutenções corretivas, ocorre uma menor demanda de mão de obra para esses atendimentos, aumentando a segurança dos colaboradores e gerando valor para a empresa.

Prezou-se, ainda, pela análise da confiabilidade do programa de manutenção preventiva para um ambiente industrial, visando ampliar a vida útil dos ativos de planta, já que ao reduzir falhas, aumenta-se as horas de produção.

Entretanto, as causas raízes das falhas observadas são a elevada temperatura e a contaminação por particulado, aos quais os equipamentos são submetidos. Algumas soluções apresentadas consideram a alta temperatura como uma condição normal para sugerir novas propostas de melhoria.

Entende-se, portanto, o quanto a manutenção preventiva pode melhorar administrativamente as finanças da empresa, dado que reduzir os custos está relacionado diretamente ao crescimento de superávit. Em outras palavras, como o rendimento líquido dá-se por meio do rendimento bruto menos o custo, quanto menor o custo, maior o lucro, sendo de extrema importância para a empresa. Ou seja, com a redução de paradas corretivas por meio dessa manutenção, reduz-se, também, os custos e, assim, aumenta-se o lucro.

Por fim, cabe citar que apesar de serem sugeridas muitas soluções para o problema, algumas são mais complexas e já foram descartadas pelos engenheiros responsáveis. No entanto, as alterações do plano de manutenção são de extrema importância e justificáveis, por isso é uma ação para ser realizada de maneira ágil. Além do mais, essa modificação é sistêmica e prática, não envolvendo gastos orçamentários imediatos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ELETROBRÁS/PROCEL. **A evolução na eficiência energética de motores elétricos.** REVIMAQ, 2015. Disponível em: <<http://www.revimaq.com/blog/a-evolucao-na-eficiencia-energetica-de-motoreseletricos/>> Acesso em: 4 nov. 2020.

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade.** ITAJUBÁ - MG: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2016.

ÁLVARES, R. C. **Diagnóstico de falhas em pára-raios utilizando termografia.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2008.

GONÇALVES, J.E.L. Os Impactos das novas tecnologias nas empresas prestadoras de serviços. **Revista de Administração de Empresas**, v. 34, n. 1, p. 63-81 jan./fev, 1994. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rae/v34n1/a08v34n1>. Acesso em: 28 out. 2020.

GUERRA, L. **PPM: a importância da manutenção bem planejada.** 2020. Disponível em: <<http://pt.linkedin.com/pulse/ppmimport%C3%A2ncia-da-manuten%C3%A7%C3%A3o-bem-planejada-lauro-guerra>> Acesso em: 25 out 2020.

JUNIOR, Altair S., **Estudo da Termografia como uma Ferramenta Complementar para Análise das Condições de Compressores Alternativos.** Diretoria de Pesquisa e PósGraduação em Gestão Industrial Produção E Manutenção: Monografia de Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2012.

JÚNIOR, Helso. F. de O. **Uso Da Termografia na Inspeção Preditiva.** Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. v. 1, p. 169-174, 2010.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica.** 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2015.

LAMIM FILHO, P. C. M. **Monitoramento permanente de motores de indução trifásicos.** 2007. 148p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

MALDAGUE, X. **Introduction to NDT by Active Infrared Thermography.** Materials Evaluation, Quebec City, Canadá, v. 60, n. 9, p. 1060–1073, 2002.

MANUT, J. **Noções Sobre Confiabilidade.** UFRN, 2011. Disponível em: <http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/13%20-%20Cap%EDtulo%2011.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

MICHAELIS. **Moderno dicionário da língua portuguesa.** São Paulo: Melhoramentos, 2021. Dicionários Michaelis, 2259 p.



MONCHY, F. **A Função Manutenção**: formação para a gerência da manutenção industrial. Rio de Janeiro: Durban, 1989.

MURPHY, B. V. J. & Z. F. Machinery Vibration and Rotordynamics. Hoboken: [s.n.], 2010.

NEPOMUCENO, L. X. (Org.). Técnicas de manutenção preditiva. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1989.

NICOLETTI, J. R. **Gestão de facilidades**. São Paulo: Novatec Editora, 2006.

OPPENHEIM, Alan V.; WILLSKY, Alan S. Sinais e sistemas. 2. ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2010.

ORHAN, S.; AKTUR, N.; ÇELIK, V. Vibration monitoring for defect diagnosis of rolling element bearings as a predictive maintenance tool: Comprehensive case studies. NDT & E International, p.293 - 298, 2006.

PIRES, F.A. **A importância da manutenção na gestão dos sistemas produtivos**, 2005. 45 fl. Monografia (Engenharia de Controle e Automação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.

RAMOS, F.A. **Influência da manutenção em uma fábrica de transformação de plásticos. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste**. 2009. 60 fl. Monografia [Graduação] - Tecnologia de Produção, São Paulo, 2009.

SHEFFER, C.; GIRDHAR, P. Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance. India, 2004.

SPAMER, Fernanda Rosa. Técnicas preditivas de manutenção de máquinas rotativas. 2009. 254 f. Projeto (Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

TARPANI, J. R. Inspeção Termográfica de Danos por Impacto em Laminados de Matriz Polimérica Reforçados por Fibras de Carbono. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19, n. 4, p. 318-328, 2009.

TESTANDO MOTORES. **Índice de polarização, absorção e envelhecimento**. 2021. Disponível em: <https://testandomotores.blogspot.com/p/indice-de-polarizacao-absorcao-e.html?m=1>. Acesso em: 20 Set. 2021.

VALE. **Pelotização na Vale completa 45 anos**. Conheça essa história. Vale, 2014. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/pelotizacao-vale-completa-45-anos-conheca-historia.aspx>. Acesso em: 4 nov. 2020.

XAVIER, J.N. **Manutenção**: tipos e tendências. 2003. Disponível em: <http://claudemiralves.weebly.com/uploads/3/8/6/2/3862918/tendencia.pdf>. Acesso em: 28

out. 2020.

YAMACHITA, Roberto. A. Determinação de Perdas e Rendimento em Motores Elétricos Empregando Termografia Infravermelha. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Doutorado. Itajubá, (MG) : [s.n.], 2013.