

**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE**

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ESTUDO DE CASO DE TRAVAMENTOS DE ROLOS DOS SEGUIMENTOS DE
LINGOTAMENTO CONTÍNUO**

**CASE STUDY OF ROLLER LOCKS IN CONTINUOUS CASTING
FOLLOWS**

ROBERTO CARLOS FERREIRA FERNANDES

Prof. Me. José Sebastião dos Reis Silva– Orientador

Rodovia MG 482 - Gigante, Conselheiro Lafaiete - MG, 36400-000– Brasil
autor1@unipac.br, autor2@unipac.br

**Conselheiro Lafaiete
2022**

ESTUDO DE CASO DE TRAVAMENTOS DE ROLOS DOS SEGUIMENTOS DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO

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

Orientador: Prof. Me. José Sebastião dos Reis Silva

**Conselheiro Lafaiete
2022**

ROBERTO CARLOS FERREIRA FERNANDES

Projeto Redução de travamento de rolos mesa de segmentos:

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

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. José Sebastião dos Reis Silva – Orientador – FUPAC

Prof. Me. Luciano Vieira Franco – Avaliador – FUPAC

Prof. Me. Esp. Edilberto da Silva Souza

**Conselheiro Lafaiete
2022**

Dedico a minha esposa e filhos, por sempre estarem ao meu lado, apoiando em todos os momentos de dificuldade seja financeiramente ou ausência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que iluminaram cada passo do meu caminho nesta jornada, sempre me dando força e esperança que um dia venceria essa batalha.

Em especial à minha mãe, Valéria, que sempre foi meu maior exemplo e motivo de orgulho, por todas as dificuldades que passou para me tornar o homem digno que sou.

Ainda em posição de destaque, à minha esposa Sueli, filhos Alice e Arthur, que dividiram comigo os momentos de dificuldades, sempre me apoiando e acreditando em mim, dando forças para seguir firme na direção do meu sonho.

Ao orientador Prof. José Sebastião dos Reis Silva, com quem tive a oportunidade de trabalhar e ser aluno, aprendendo não só a técnica, mas também a disciplina e o respeito. Também pela disponibilidade, competência e conhecimento divididos comigo durante a execução deste trabalho.

Agradeço aos professores pela dedicação e ensinamentos.

Aos meus colegas de trabalho Junior e Clever que pude aprender e me desenvolver neste processo.

Por último e nunca menos importante, ao meu Pai Gilmar que me colocou no caminho certo me ensinado a trabalhar e ter dignidade.

“Viver é como andar de bicicleta: é preciso estar em
constante movimento para se manter o equilíbrio”

(Albert Einstein)

RESUMO

Nos processos de lingotamentos contínuos da empresa estudada, especialmente no lingotamento contínuo, convive-se com um alto índice de travamento de rolos de segmentos, fato gerador de um alto custo de manutenção e alto custo com lubrificante.

Por não existir estudos específicos sobre o assunto, este trabalho acadêmico pretende analisar o problema em sua causa raiz e propor uma solução para eliminá-lo.

Ligados aos problemas citados acima, vislumbra-se a redução de custos em várias frentes descritas a seguir:

Redução do percentual de travamentos de rolos;

Redução do consumo mensal de graxa;

Redução do custo por quilo de graxa;

O consumo de graxa, atualmente próximo de cinco toneladas, pode ser reduzido em torno de 30%, por meio de estudos e testes de uma nova graxa que seja resistente às condições de trabalho e também pela otimização do ciclo de aplicação pelo sistema centralizado de lubrificação.

A graxa hoje utilizada tem um custo de R\$74,10 o quilo, por se tratar de uma graxa com características especiais, mas, para lingotamentos contínuos apresenta baixo rendimento. Com o estudo e teste da nova graxa MRSC2, adequada para lingotamentos contínuos, possibilitou uma redução no custo por quilo da ordem de 50%. Apresentando o melhor custo benefício com custo R\$33,87 o quilo gerando um retorno imediato de R\$ 2.968.974,00 para empresa.

Tendo em vista o potencial acadêmico, a possibilidade de retorno financeiro para as empresas, aliados à redução do consumo de lubrificantes e ao consumo de rolos, este trabalho volta-se também para o conceito de sustentabilidade, pois permite a redução no consumo de recursos naturais e possibilita aos graduandos o desenvolvimento de uma consciência ecológica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Figuras

Lista de Gráficos

Lista de Quadros

Lista de Tabelas

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas
FUPAC Faculdade Presidente Antônio Carlos
TCC Trabalho de Conclusão de Curso

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos.....	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
1.2 Justificativa	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 Definição de Manutenção.....	13
2.1.2 Tipos de Manutenção	14
2.1.3 Manutenção Corretiva	14
2.1.4 Manutenção Preventiva	15
2.1.5 Manutenção Preditiva	15
2.1.6 Manutenção Detectiva.....	16
2.2 Lingotamento Contínuo	16
2.3 Lubrificação	17
2.3.1 Lubrificantes	17
2.3.2 Atrito.....	18
2.3.2.1 Tipos de Atrito	18
2.3.2.2. Mecanismo de desgaste	19
2.3.4.3 Lubrificação Elastohidrodinâmica (EHL)	24
2.3.5 Processo de Lubrificação do Lingotamento Contínuo de Placas	28
2.3.6 Formas de aplicação	29
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	30
3.1 Delineamento da Pesquisa	30
3.2 Coleta e Análise dos Dados	31
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1 Descrição do processo.....	31
4.2 Análise do Problema.....	35
4.3 Plano de Ação e Resultados	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	74

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias e equipamentos no cenário industrial tornando as empresas cada vez mais competitivas, as empresas buscam cada vez mais aperfeiçoar e preparar as pessoas no processo de manutenção como uma função estratégica para aumentar a produtividade e disponibilidade operacional de seus ativos.

Em virtude do grande número de travamento de rolos dos segmentos de placas, onde vem causando grande riscos mecânicos no produto final e perdas ao processo produtivo, viu-se a necessidade de um estudo aprofundado relacionado às causas do problema citado.

O conceito de lingotamento contínuo surgiu em 1840, com o americano George Sellers, na tentativa de lingotar tubos de chumbo. Em 1846, Henry Bessemer idealizou uma máquina de lingotamento contínuo para aços, na qual consistia em lingotar as placas de aço entre dois cilindros refrigerados a água.

Várias ações foram tomadas pela área inclusive testes de vários lubrificantes especiais e não tiveram resultados esperados. Porém é um fator importante, e cauteloso que deve ser bem estudado para o correto desenvolvimento, estudo este que será conduzido no trabalho, que diz respeito à influência do lubrificante no travamento de rolos dos segmentos de lingotamento contínuo.

Diante deste contexto a pesquisa visa responder a seguinte questão: O que fazer para que o processo de lubrificação maximize os resultados da manutenção, para aumentar a disponibilidade do lingotamento contínuo de placas?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo e desenvolvimento sobre lubrificante para aplicação em sistemas de lingotamentos contínuo que possua a melhor performance e proporcione aumento da vida dos rolamentos dos segmentos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Utilizar estudo de especificação genérica para seleção de lubrificante.
- Analisar histórico de falha do equipamento.
- Identificar as causas raízes ligado a deficiência de lubrificação.

- Estudar qual a influência do processo de operação na graxa dos rolamentos.
- Identificar ações para melhorar a performance de lubrificação;
- Implementar ações de melhoria após estudo de novo lubrificante;
- Verificar eficácia das ações com implantação da nova graxa;

1.2 Justificativa

O estudo de caso proposto neste projeto, tem como objetivo desenvolver lubrificante que possua a melhor performance e proporcione aumento da vida dos rolamentos dos segmentos, analisando a performance dos lubrificantes em laboratório e posterior aplicação em campo, afim de classificar o de melhor desempenho frente aos resultados, para que possa ser desenvolvido um lubrificante que consiga aumentar o intervalo entre falhas dos rolamentos dos segmentos, proporcionando em uma grande redução de custo de manutenção direta e indireta no processo.

A seleção deste tema possui um grande valor didático, pois está ligado diretamente com a área de atuação do pesquisador, valor este que permite também grande instrução para outros profissionais e pesquisadores, gerando valor e enriquecendo o desempenho profissional e conhecimento para divulgação no tema de lubrificação na manutenção.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, serão apresentados conceitos sobre os tipos de manutenção, processo de lingotamento, lubrificação e mecanismos de desgastes.

Encontram-se, também neste capítulo temas básicos sobre lubrificação, atrito, tipos de lubrificação, graxas e suas características, especificação genérica para definição de ensaios de desempenho para o desenvolvimento do lubrificante para graxa de aplicação nos segmentos. Os temas definidos serão apresentados em sub-itens e devem abranger o escopo do TCC.

Além disso, foi inserido neste capítulo, outra variante que vem de encontro com o desenvolvimento do novo lubrificante como por exemplo a redução de custo e consumo de graxa e aumento de vida útil de componentes de acordo com as características de seleção de um bom lubrificante.

2.1 Definição de Manutenção

A manutenção se deu início através do desenvolvimento a partir do século VXI na Inglaterra com a invenção das máquinas de tear e da máquina à vapor, com uma visão corretiva.

O processo de evolução da manutenção sugerem uma divisão em cinco etapas, segundo Kardec & Nascif (2001), chamadas de gerações, onde relatam que a primeira geração se deu nos períodos que antecederam a segunda guerra mundial alavancaram as produções devido às necessidades armamentistas, porém devido à conjuntura da época a produtividade ainda não era prioritária, sendo assim, não era necessária uma manutenção sistematizada e apenas alguns serviços de lubrificação e limpeza eram realizados. As substituições de componentes eram realizadas quando estes se danificavam, resumindo-se em manutenções corretivas.

A segunda geração da manutenção vai desde a segunda guerra mundial até os anos 70, ainda sobre Kardec e Nascif (2001), nela surgiu o conceito da curva da banheira que ganha espaço dentro do processo de manutenção, além do aparecimento da manutenção preventiva baseada no tempo, realizada com programações manuais. Sobre a terceira geração, que acontece nas décadas de 80 e 90, os conceitos de disponibilidade, preservação do meio ambiente ganham espaço, além do monitoramento da condição de máquinas com a utilização de técnicas preditivas. A quarta geração traz uma drástica redução das falhas prematuras, além da utilização de técnicas voltadas para a confiabilidade e gestão de ativos, meio ambiente e segurança do trabalho, e por último, a

quinta geração da manutenção atuando fortemente no monitoramento das máquinas de modo on e off-line, com planejamento do ciclo de vida dos ativos.

Ao decorrer do tempo com o entendimento destas três gerações nota-se as condições das indústrias, o discernimento e compreensão da funcionalidade da manutenção tornavam-se cada vez mais necessários e vantajosos de modo geral. O que antes era deixado para corrigir após a falha, passou-se a exigir a responsabilidade de se adequar a padrões estabelecidos de qualidade. Sendo assim, as empresas passaram a ver a manutenção como meio de atingir resultados.

2.1.2 Tipos de Manutenção

De acordo com Dupont “manutenção é a uma das maiores despesas em uma fábrica: em muitas empresas frequentemente excedem o lucro líquido anual”. RUPF, M. G. S. (2018).

No passado, falando-se das décadas de 70 e 80, a manutenção corretiva era largamente utilizada, e ainda hoje é, porém em escala menor, já com a necessidade de se produzir mais e reduzir os custos, entra em ação a manutenção preventiva. Dependendo do tipo do seguimento, cada tipo de manutenção tem o seu melhor enquadramento, pode-se dizer por exemplo, que na aviação tem-se uma utilização ampla da manutenção preventiva. Isso quer dizer que dado a hora de voo da aeronave, a utilização de um componente será obsoletada, ou seja, o item será trocado independente da sua condição, uma manutenção bem conservadora, já que o componente não pode ser monitorado online, ou mesmo que seja, não é possível garantir alta confiabilidade. Além disso a probabilidade de falhas nesse tipo de equipamento deve ser praticamente zero pois há vidas envolvidas, acidentes definitivamente não podem ocorrer.

Com advento das novas tecnologias, a manutenção preditiva ganhou mais força, contribuindo assim com a redução de custo e previsões mais assertivas a respeito da operação confiável das plantas de minério com seus equipamentos. Numa outra vertente, a manutenção proativa que trabalha de forma conjunta com a engenharia de confiabilidade para evitar qualquer início de falha, tem sido ampliada e estudada, ainda que de forma tímida, para garantir melhorias e eficiência nos processos de manutenção. Abaixo serão apresentados os quatro tipos mais citados pelos autores:

2.1.3 Manutenção Corretiva

Segundo ABNT (NBR-5462-1994), é uma manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Este tipo de manutenção, normalmente implica em custos altos, pois a falha inesperada pode acarretar perdas de produção e queda de qualidade do produto. As

paralisações são quase sempre mais demoradas e a insegurança exige estoques elevados de peças de reposição, com acréscimos nos custos de manutenção.

A manutenção corretiva, apresenta ainda uma subdivisão:

Corretiva planejada: Detecta a ocorrência do defeito através de um resultado de uma inspeção frequente, com o tempo da manutenção corretiva ser planejada e programada antes que resulte na falha iminente do equipamento.

Corretiva não planejada: Somente é realizada a correção após a falha do equipamento, sendo não planejada e não programada.

2.1.4 Manutenção Preventiva

É uma manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, segundo a ABNT (NBR-5462-1994), destinada a reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento do item.

É uma intervenção prevista, programada e planejada antes da data provável do surgimento de uma falha, de modo geral, são o conjunto de serviços de inspeções sistemáticas, ajustes, conservações e eliminação de defeitos buscando impedir as falhas.

RUPF, MARIO GUILHERME SILVA (2018) nos fala que, todos os programas de gerência de manutenção preventiva assumem que as máquinas degradarão com um quadro típico de sua classificação em particular. Desta forma o plano de manutenção preventiva, normalmente, se dá pela conformidade com um cronograma ou índices de funcionamento da máquina, baseados em históricos ou recomendações do fabricante. Dispõem-se nesta seção as revisões sistemáticas do equipamento, as lubrificações periódicas, os planos de inspeção de equipamentos e os planos de calibração e de aferição dos instrumentos.

2.1.5 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é baseada em práticas de monitoramento em tempo real, conhecida como uma técnica de manutenção com base na condição e estado do equipamento. A preditiva faz o acompanhamento e monitoramento periódico das máquinas, por meios Softwares de análise de vibração, ultrassom, termografia, boroscopia, ensaios não destrutivos. Além desses métodos

também é utilizado a análise de óleo para monitorar os níveis de contaminação por água, partículas, metais ferrosos e a condição dos aditivos que compõem o lubrificante. Todos esses recursos utilizados servem para prever o que está ocorrendo com a máquina em termos de desgaste adesivo, abrasivo, erosivo, entre outros.

O principal objetivo da preditiva é a verificação pontual dos equipamentos a fim de antecipar eventuais problemas que possam causar gastos maiores com manutenções corretivas.

2.1.6 Manutenção Detectiva

É a atuação efetuada em sistemas de proteção ou comando, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção, diferenciada da manutenção preventiva pelo nível de automatização.

2.2 Lingotamento Contínuo

O processo de lingotamento contínuo pode ser considerado com um processo de transferência de calor, onde o metal líquido é transformado em um produto semiacabado. Este processo apresenta grande vantagem em relação ao lingotamento convencional, podendo-se citar: redução do tempo e etapas de lingotamento; eliminação da bateria de lingoteira maciças, cabeças quentes, pontes, estripadores; eliminação de onerosos e poluidores fornos poços; obtenção de aços com qualidade estrutural melhor; obtenção de qualidade superficial melhor e mais regular; excelente rendimento com aproveitamento quase total do aço devido a continuidade do processo. Pelo processo de lingotamento contínuo são produzidos tarugos, blocos, beam blanks, placas e materiais não ferrosos. (GARCIA et al., 2006, p.6).

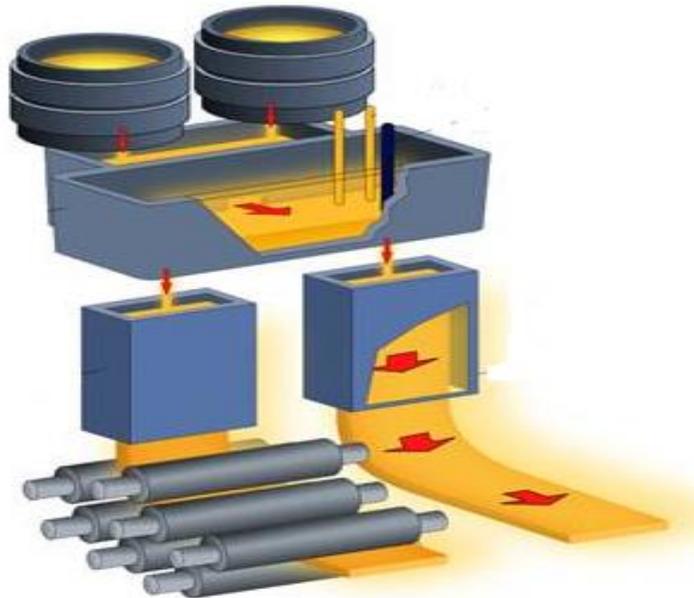
Uma máquina de lingotamento subdivide-se em torre de painéis, distribuidores, moldes, oscilação do molde, segmentos ou zonas de contenção, resfriamento secundário, extração e desempenho, oxicorte conforme figura 1.

Nas operações de início da introdução do processo de lingotamento contínuo, a cada corrida o equipamento era paralisado e realizada a preparação da máquina para o recebimento de uma nova panela. O desenvolvimento da técnica de lingotamento sequencial reduziu significativamente os tempos de parada do equipamento e proporcionou aumentos elevados na produtividade, principalmente a partir de meados da década de 60 até final da década de 70, onde foi verificado um alto grau de crescimento e desenvolvimento do lingotamento contínuo.

O lingotamento sequencial está atrelado ao desenvolvimento dos parâmetros citados anteriormente. A diminuição dos tempos de manutenção, reparo e preparação do equipamento, o

desenvolvimento de moldes com trocas de larguras sem a necessidade de interrupção da máquina, os aperfeiçoamentos das técnicas de trocas de painéis e distribuidores, foram determinantes para a aplicação do lingotamento sequencial.

Figura 1 Esquema de um lingotamento contínuo



Fonte: Arquivo SMS Demag

2.3 Lubrificação

E a ciência da redução do atrito mediante a aplicação de um material entre as superfícies de dois corpos que se encontram em movimento relativo.

A trilogia é o estudo da lubrificação, do atiro e do desgaste (Noria,2019).

A trilogia é impactada por movimentos de deslizamentos e rolamentos, velocidade, temperatura, carga, ambiente operacional e método de aplicação

2.3.1 Lubrificantes

Os lubrificantes são as substâncias que evitaram o contato entre dois corpos em movimento relativo. Formando uma película protetora que tem a função principal de reduzir o atrito, o desgaste, em como auxiliar na no controle de temperatura e vedação de componentes de maquinas e motores, proporciona limpeza das peças, protege contra corrosão decorrente do processo de oxidação, evitando entrada de impurezas, podendo também ser agente de transmissão de força e movimento. (Carlos Eduardo)

Os principais lubrificantes não minerais são os Óleos Graxos, os Óleos compostos e os Óleos Sintéticos.

Óleos graxos – são de origem animal e vegetal. Tem boa aderência nas superfícies, mas são caros, não resistem à oxidação e se tornam ácidos e corrosivos com o uso.

Óleos composto – é a mistura de óleos minerais e graxos. Tem maior oleosidade e facilidade de emulsificar (óleos solúveis).

Óleos sintéticos – são obtidos em laboratórios. Tem qualidade superior a dos óleos minerais, resistência a oxidação aumentando a vida útil, suportam temperaturas mais altas, mais estabilidade química e são de custo muito alto.

Sendo os minerais são extraídos e destilados a partir do petróleo. Sua composição e propriedades dependem da natureza do óleo cru. Passando por diferentes tipos e formas de tratamentos, onde consegue se obter diferentes bases como:

Grupo 1: Refinados por solventes

Grupo 2: Hidrotratado

Grupo 3: Hidrocraqueado

Grupo 4: Óleo sintéticos PAO

Grupo 5: Oleos base naftênicos, ésteres sintéticos, polialquileno, glicol (DAG), éster de fosfato.

2.3.2 Atrito

Pode ser definido como a resistência ao se mover uma superfície em relação a outra. Devido ao atrito ser sempre menor que o atrito sólido, a lubrificação consiste na interposição de uma substância fluida entre duas superfícies, evitando assim, o contato sólido com sólido, produzindo o atrito fluido.

2.3.2.1 Tipos de Atrito

Segundo Carreteiro e Belmiro (2006), existem dois tipos de atrito, considerando os tipos de contatos entre as superfícies em movimento, podemos distinguir:

- Atrito sólido

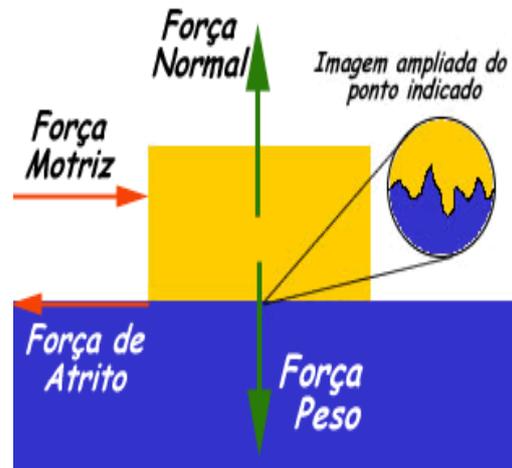
Quando há contato entre duas superfícies sólidas entre si. O atrito pode ser subdividido em dois grupos:

Atrito de deslizamento, quando duas superfícies se deslocam diretamente em contato com a outra.

- Atrito Fluido

Quando existir uma camada fluida (liquida ou gasosa) separando as superfícies em movimento. O fluido que forma essa camada chama-se lubrificante. Conforme figura 2:

Figura 2 Força de Atrito

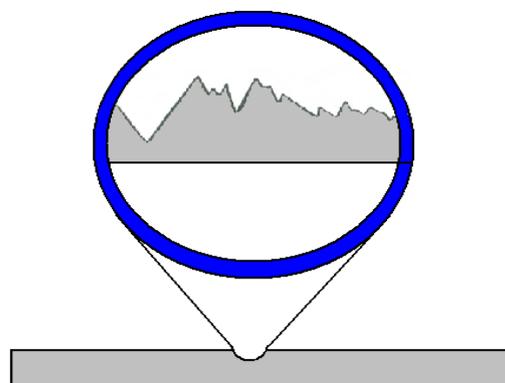


FONTE: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/forca-de-atrito-entenda-o-que-sao-atrito-estatico-e-atrito-cinetico.htm?mobile>

2.3.2.2. Mecanismo de desgaste

Desgaste de uma superfície é causado pelo movimento relativo progressivo de uma superfície em relação ao movimento de outra. Ao aumentarmos, com auxílio de um microscópio, qualquer superfície, mesmo que ela tenha uma aparência lisa ou polida, ela apresentará na forma de vários picos e vales como na figura 3.

Figura 3 Representação picos e vales



Fonte: Apostila noria(2022)

Quando as superfícies são colocadas em movimentos contrários, os picos se chocam, quebrando primeiramente os maiores. A este acontecimento damos o nome de Cisalhamento indicado na figura 4. Lembrando que, se as peças tiverem durezas iguais, quebram os picos das duas peças, caso uma peça seja mais dura, a mesma quebrará os picos da peça de menor dureza.

Figura 4 Contato entre picos vales



Fonte: Apostila noria (2022)

Uma das formas que propiciam os aumentos dos desgastes são os tipos de contaminantes que se podem encontrar em sistemas lubrificados são líquidos e sólidos. Partículas sólidas e água se torna crítico para o somente na medida que são aumentadas geram grande impactos nos equipamentos.

Os impactos num modo geral foram muito bem estudados e explorados pelo professor E. Rabinowicz, quando em 1985, apresentou seu histórico de estudo sobre a degradação de superfície de elementos lubrificados. Nele o professor afirmou que 15 % das perdas se deviam a obsolescência das perdas dos ativos e outros 15 % perda por problemas de acidente, mas que uma grande maioria da perda de utilidades se devia a problemas de degradação de superfície.

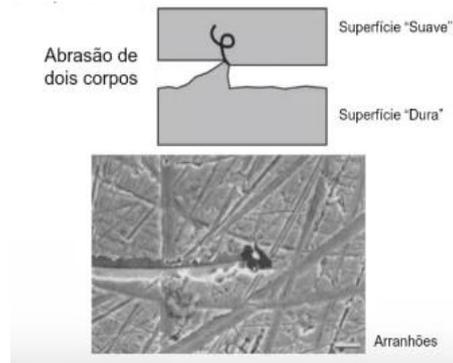
2.3.2.3 Desgaste por adesão

Acontece quando duas superfícies metálicas são postas em contato, sofrendo o efeito da adesão.

2.3.2.4 Desgaste por abrasão a dois corpos

Desgaste abrasivo a dois corpos ocorre em contatos deslizantes sob condições de lubrificação de limite como na figura 5.

Figura 5 Desgaste por abrasão a dois corpos

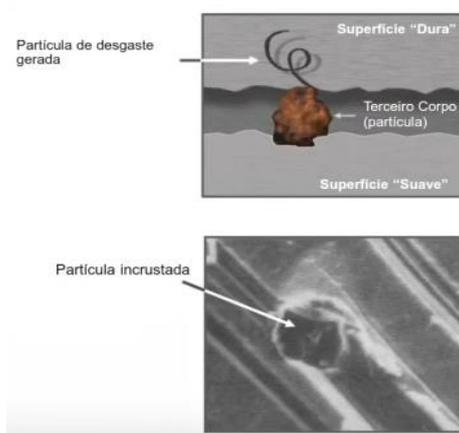


Fonte: Apostila noria(2022)

2.3.2.5 Desgaste por abrasão a três corpos

Desgaste por abrasão por três corpos um processo de desgaste por partículas, onde estas ficam presas entre duas superfícies deslizantes, como indicado na figura 6.

Figura 6 Desgaste por abrasão a três corpos



Fonte: Apostila noria(2022)

2.3.2.6 Desgaste por Oxidação

Acontece quando as peças entram em contato com alguma substância corrosiva, como: o ar atmosférico (oxigênio) – ácidos – vapores e outros.

2.3.2.7 Desgaste por fadiga Superficial

A fadiga de superfície inicia por entalhe ocasionado por partículas suaves ou duras. Ocasionalmente um crescimento do stress nas saliências, A repetição da alta carga (pressão inversa) na superfície e forma de pittings e formação de lascas.

2.3.3 Tipos de Lubrificação

Na prática podemos dividir os lubrificantes em vários tipos diferentes levando em consideração seu estado de matéria.

Os lubrificantes podem ser:

Gasosos

Sólidos

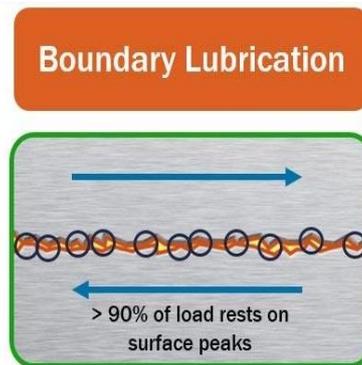
Líquidos

Pastosos

2.3.4 Lubrificação Limite

Lubrificação Limítrofe – A lubrificação limítrofe está associada ao contato metal-metal entre duas superfícies deslizantes em uma máquina. Durante a partida ou ao desligar um equipamento (ex. mancal de deslizamento) ou sob condições de extrema carga (pinos e buchas de equipamentos de construção), as superfícies metálicas podem entrar em contato severo mesmo havendo lubrificação. Se o óleo não é espesso o suficiente para evitar o contato entre as asperezas das superfícies metálicas, o resultado é um λ menor que um, como na figura 7.

Figura 7 Lubrificação Limítrofe

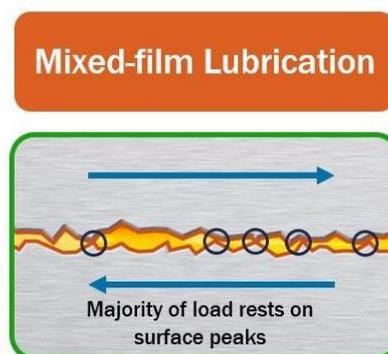


Fonte: <http://www.machinerylubrication.com/>

2.3.4. Lubrificação Mista

Lubrificação Mista – A lubrificação limítrofe é reduzida drasticamente conforme a velocidade aumenta, criando um melhor filme lubrificante entre as superfícies em movimento. Uma vez que o potencial de contato é reduzido e a espessura do filme é aumentada, o coeficiente de atrito cai drasticamente para uma condição chamada de lubrificação mista, como na figura 8. Esta é uma condição intermediária entre a limítrofe e a hidrodinâmica e elastohidrodinâmica, uma zona meio nebulosa entre elas. Uma vez que a espessura do filme lubrificante aumenta, o sistema começa a operar com um filme total, passando para os regimes de lubrificação elastohidrodinâmico ou hidrodinâmico.

Figura 8 Lubrificação Mista



Fonte: <http://www.machinerylubrication.com/>

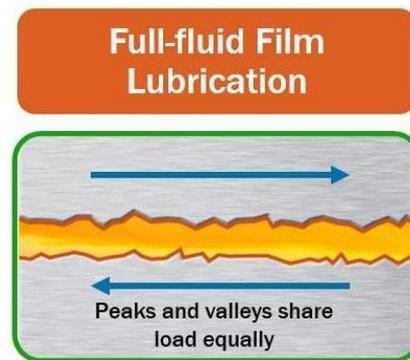
2.3.4.2 Lubrificação Hidrodinâmica

Na lubrificação hidrodinâmica, as superfícies são separadas por um filme de maior espessura lubrificante. É afetada pela viscosidade, carga e velocidade, como na figura 9.

Para Carreteiro e Belmiro (2006) a lubrificação hidrodinâmica é aquela na qual a viscosidade é o fator mais importante. Não há, teoricamente, desgaste, uma vez que as superfícies lubrificadas nunca entram em contato, entretanto, nunca ocorrerá lubrificação totalmente hidrodinâmica.

Segundo a Noria (2017), a película lubrificante no regime hidrodinâmico varia dependendo da velocidade, viscosidade e carga, podendo ter espessura entre 5 e 200 microns.

Figura 9 Lubrificação Hidrodinâmica



Fonte: <http://www.machinerylubrication.com/>

2.3.4.3 Lubrificação Elastohidrodinâmica (EHL)

Lubrificação Elastohidrodinâmica (EHL) acontece quando existe uma movimentação entre duas partes móveis e a zona de contato tem uma baixa conformidade. Por exemplo, observe que a curva de uma esfera ou rolo de um rolamento e a pista do rolamento são bastante diferentes. De fato, a curva do rolo ou esfera e da pista estão em direções opostas, gerando uma área de contato pequena (quase que um ponto único de contato). Isso gera uma alta pressão onde há contato, centenas de milhares de psi.

Figura 9 Lubrificação Elastohidrodinâmica



Fonte: <http://www.machinerylubrication.com>

Segundo a Noria, uma vez que o óleo entra na zona de contato entre a esfera e a pista, a pressão do óleo aumenta acentuadamente. Esta alta pressão aumenta a viscosidade do óleo consideravelmente e sua habilidade de suportar cargas. Esta carga concentrada deformará levemente o metal da esfera ou rolo e da pista na zona de contato. Esta deformação somente acontecerá na zona de contato e o metal elasticamente voltará a sua forma normal uma vez que a rotação continua.

Obviamente, a metalurgia e o tratamento térmico do metal são muito importantes para este regime de lubrificação. Uma vez que a viscosidade do óleo é diretamente afetada pela temperatura, temperaturas de operação anormais ou incorretas interferirão na formação do filme da lubrificação elastohidrodinâmica. Exemplos de aplicações sob este regime de lubrificação são mancais com elementos rolantes, contatos entre dentes de engrenagens e cames onde o contato de altas cargas de elementos rolantes acontece. Se as condições de operação como carga, velocidade e temperatura não excederem o normal, o contato entre as asperezas pode nunca acontecer devido a esta característica formidável do lubrificante e do metal. A espessura do filme lubrificante é normalmente de 1 micron (muito, muito fina). Porém, a operação da lubrificação elastohidrodinâmica é considerada como uma operação de filme completo (picos de asperezas na ordem de 0,4 a 0,8 microns).

2.3.3.1 Lubrificação a graxa

São lubrificantes fabricados a partir de uma substância espessante em um fluido lubrificante, ou seja, um tipo de matéria chamada de sabão mais um lubrificante, que geralmente é um óleo mineral.

2.3.3.2 Vantagens de utilização da graxa

Segundo Carreteiro e Belmiro (2006). As graxas possuem algumas vantagens:

- Boa retenção;
- Lubrificação instantânea na partida;
- Mínimo vazamento;
- Permite uso de mancais selados;
- Elimina contaminação;
- Permite operação em várias posições;
- Requer aplicação em varia posições requer aplicações menos frequentes;
- Baixo consumo;

Mancais de deslizamento:

- Boa retenção;
- Resiste ao choque;
- Permanece onde necessário nas partidas e operações intermitentes;

Engrenagens:

- Boa retenção, principalmente em engrenagens aberta
- Resiste a ação de remoção proveniente da força centrífuga

Existem vários tipos de espessantes para variadas situações segundo Carreteiro e Belmiro (2006):

2.3.3.3 A base cálcio

Sua grande vantagem é a resistência a água. Que em sua composição possui um percentual de água, usada como estabilizante, porem sendo restrita a temperatura máxima de 80°C. Com a evolução da tecnologia de lubrificantes nas graxas de cálcio, que passou a não necessitar de água como estabilizante, passou a ter uma resistência maior a temperatura para 120°C.

2.3.3.4 A base de sódio

Sua principal vantagem é a boa resistência ao calor, podendo ser usada até 90-120°C. Seu ponto de gota, fica em torno de 175°C. Entretanto não resiste a água onde são emulsionadas e lavadas pela água.

2.3.3.5 A base de alumínio

A máxima temperatura para essa graxa é equivalente a graxas de cálcio, porém se decompõe e ficam gomosas quando aquecidas, tornando se impróprio para uso. Possuem boa resistência a água, muito boa adesividade muito utilizadas para graxas em chassi.

2.3.3.6 A base lítio

As graxas de cálcio e alumínio resistem a água, porém não suportam calor, quando as de sódio, embora possam ser usadas em alta temperatura, não resistem a sistemas que possuem lavagem por água. Graxas de lítio são usadas como aplicação múltiplas que possa atender as a maioria dos requisitos de lubrificação. São adequadas para funcionar entre 70 e 150°C e seu ponto de gota é 180°C.

2.3.3.7 Graxas de sabão complexo

Essas graxas apresentam vasta gama de aplicações, possuindo elevado ponto de gota e boa resistência ao calor, propriedade de aditivos como extra pressão e resistência a água. A temperatura de trabalho é bem superior aos demais lubrificantes cerca de 180°C, devido ao sabão complexo. Combinada com outros sabões consegue entregar maiores resistência a temperatura.

2.3.3.8 Graxas Poliuréias

Graxas de poliuréia: utilizam o polímero uréia como espessante, seu consumo é limitado devido ao alto custo de produção, porém, como possui alta estabilidade térmica e boa resistência à água, tem maior durabilidade, o que deve ser levado em conta nos cálculos econômicos.

2.3.3.9 Graxas Sulfonato de cálcio

As Graxas de complexo de sulfonato de cálcio é um espessante que vem ganhando cada vez mais mercado nas aplicações industriais. Essas graxas têm em sua formulação complexo de sulfonato de cálcio que apresenta grande resistência a temperatura, capacidade de suportar elevadas cargas devido a presença de propriedades de extrema pressão e antidesgaste inerentes e estabilidade ao cisalhamento, bem como grande resistência a umidade. Também utilizada para proteção do equipamento, pois ela é uma camada de proteção extra contra agentes corrosivos e contaminantes.

2.3.5 Processo de Lubrificação do Lingotamento Contínuo de Placas

Lingotamentos contínuos são máquinas do processo de aciaria, projetadas para operar por longos períodos, sem interrupção. A forma construtiva desses ativos é curva, onde recebem o aço líquido e dão a ele forma através da solidificação durante o processo de lingotamento. A forma de solidificação acontece inicialmente no molde onde é formada uma película solidificada que sustenta o núcleo ainda em estado líquido. A solidificação inicial acontece sobre a cabeça da barra falsa, evitando o vazamento de aço líquido. À medida que a barra falsa é extraída, traz consigo a barra de aço semifluida, passando em seguida pelos segmentos, formados por conjuntos de rolos, cuja função é evitar a deformação causada pela pressão.

Os segmentos são submetidos a altas temperaturas e grandes volumes de água de refrigeração. Nesta região acontece o travamento dos rolos, ocasionando riscos de origem mecânica na barra lingotada. Estes riscos são caracterizados como problemas de qualidade e geram retrabalho nas laminações no sentido de eliminá-los.

Os lubrificantes recomendados pelos fabricantes dos segmentos são graxas especiais de Poliúreias que possuem em suas características resistência a temperatura e fácil bombeabilidade.

O tempo para a troca destes segmentos são considerados alto, sendo ela por programada ou a partir da parada emergencial da máquina, quando existe uma ocorrência, a equipe de operação libera a máquina para a equipe de manutenção iniciar as atividades e até a troca do seguimento se efetivar. A partir daí, ainda deve ser considerado o tempo até a máquina operar a plena carga, pois há necessidade de a operação inspecionar toda a máquina e iniciar a inserção da “barra falsa”, para posterior produzir a primeira placa.

Durante o processo de operação para lingotar o material ainda incandescente a alta temperatura, sendo tratado termicamente por processo de água de sprays e cargas exercidas pelos

rolos dos segmentos que executam a conformação das placas, essas condições citadas acima, exige que o lubrificante também entregue melhor resistência frente a essas variações do processo.

A lubrificação para estes sistemas é automatizada levando quantidades calculadas de graxa para todos os rolamentos dos segmentos através de bombas de engrenagem, tubulações de aço e distribuidores progressivo que fazem a separação e aplicação de cada componente.

As variações do processo afetando diretamente as principais características que o lubrificante deve entregar, como exemplo resistência mecânica ao cisalhamento, resistência a temperatura, resistência a lavagem por água, e bombeabilidade devido ao sistema automático necessita de levar lubrificante a uma altura razoavelmente alta, caso essa condição não ocorra, a deficiência da lubrificação leva a quebra prematura dos rolamentos, entupimentos de tubulação e bicos do sistema de sprays pelo endurecimento da graxa afetado pela variação da temperatura no processo e pode ser lavado a graxa pelo sistema de água pressurizado.

Um das primeiras tentativas de correção para evitar a deficiência de lubrificação, normalmente a primeira decisão a ser tomada é aumentar a quantidade da graxa para os rolamentos, que muitas das vezes não é a melhor opção, como consequência do aumento, a geração de resíduo interfere no processo de tratamento de água, causando falhas nos sistemas de filtragem.

Sendo assim, existem registros de que a unidade de Lingotamento Contínuo de Placas necessita de paradas emergenciais, para a equipe de manutenção faça a devida troca de segmento por travamentos de rolamentos e fadigas nos sistemas de filtro de área nas recirculações de água.

Diante desta preposição, o travamento de rolos dos segmentos é uma das principais causas de indisponibilidade da máquina nos últimos anos, afetando a vida dos rolamentos devido a deficiência na lubrificação.

2.3.6 Formas de aplicação

Os lubrificantes podem ser aplicados de várias formas de acordo com sua apresentação física. Segundo Carreteiro e Belmiro (2006), retratam que os dispositivos e acessórios comumente usados são:

- Dispositivos de lubrificação à óleo
- Dispositivos de lubrificação à graxa
- Lubrificador mecânico
- Lubrificador hidrostático
- Sistema centralizado

- Lubrificação por névoa

Relatam que a escolha entre o óleo e graxa para a lubrificação depende do projeto a ser utilizado, sendo que a escolha do equipamento para a lubrificação visa:

- Promover a lubrificação correta do equipamento
- Evitar a lubrificação por excesso ou falta
- Eliminar a falha pessoal
- Aumentar a produtividade
- Prolongar a vida útil do equipamento

Além disso, a escolha do método de aplicação do lubrificante depende dos seguintes fatores:

- Tipo do lubrificante: óleo ou graxa
- Viscosidade
- Quantidade de óleo
- Custo do dispositivo adequado

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo apresentará os métodos analisados para as soluções dos problemas levantados em relação aos desvios de falhas nos segmentos, que podem gerar ganhos quantificáveis para a manutenção.

3.1 Delineamento da Pesquisa

Com a ideia de solucionar os problemas levantados neste trabalho, foram realizadas pesquisas bibliográficas e experimentais, onde se buscou fontes, como livros, artigos virtuais e livros, apostilas, manuais, teses e dissertações que aprofundam no assunto, além dos estudos de campo e levantamentos de dados sobre falhas, custos e indicadores de manutenção.

3.2 Coleta e Análise dos Dados

O trabalho possui abordagens quantitativas e qualitativas, com base nos históricos dos equipamentos, bem como consumo de lubrificante, registro de falhas de seguimentos, custo com rolamentos quebrados e também as informações de campo levantadas através de inspeção em campo, registro fotográficos e resultados de desempenho do lubrificante em laboratório.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

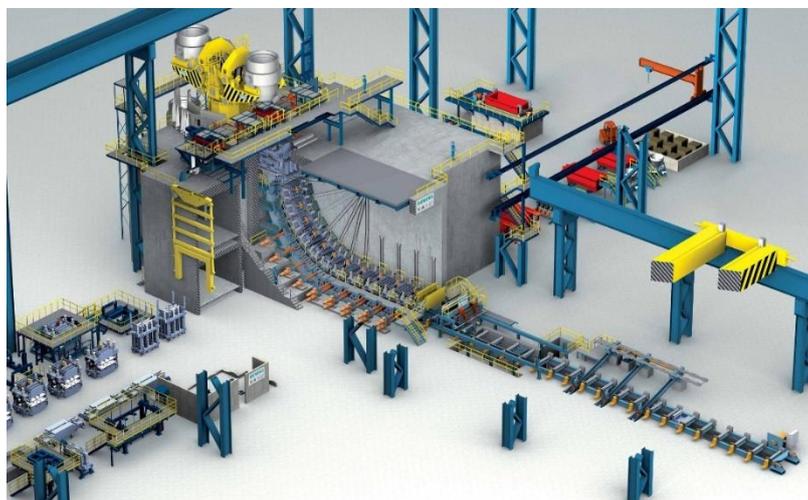
Serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nesta pesquisa a fim de responder aos objetivos propostos.

4.1 Descrição do processo

O processo de lingotamento contínuos é um processo que tem sua função de conformação do aço líquido em formas variadas como placas, blocos e tarugos. A conformação é realizada através de vários seguimentos com grande número de rolos e rolamentos que direcionam a carga na até a extração e área de corte. Sua demanda operacional exige que o lubrificante entregue uma melhor performance devido a altas variações de temperaturas, cargas e água. O estudo para desenvolvimento da performance da nova graxa foi baseando nos seguintes dados:

A FIG.10 representa de forma simplificada o desenho máquina de lingotamento.

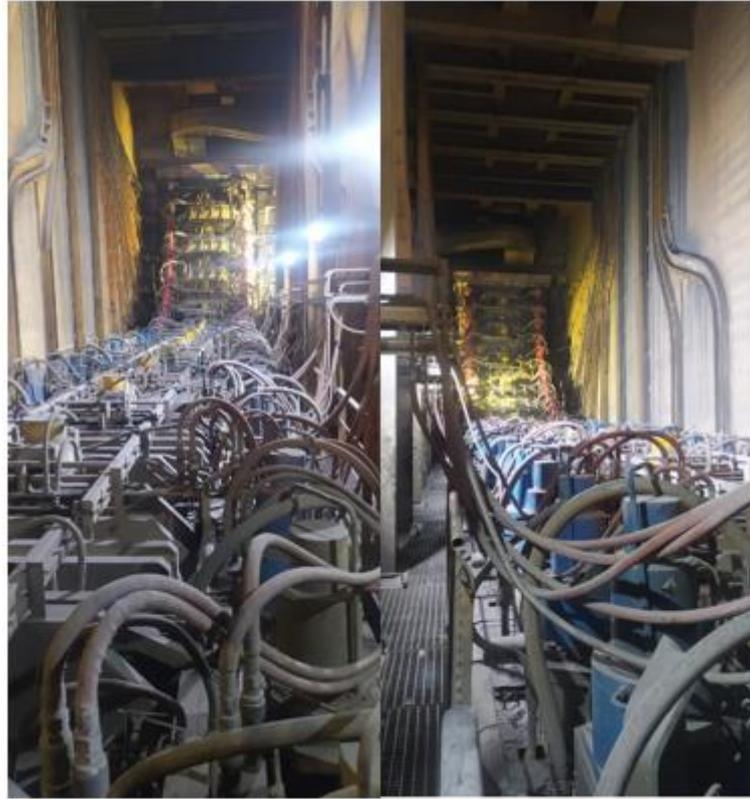
Figura 10 Desenho simplificado de uma máquina de lingotamento contínuo



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

No lingotamento também existem dois veios que realizam a conformação das placas sendo eles, veio 1 e veio 2 como na figura 11.

Figura 11 Veio 1 e veio 2 do Lingotamento de Placas



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

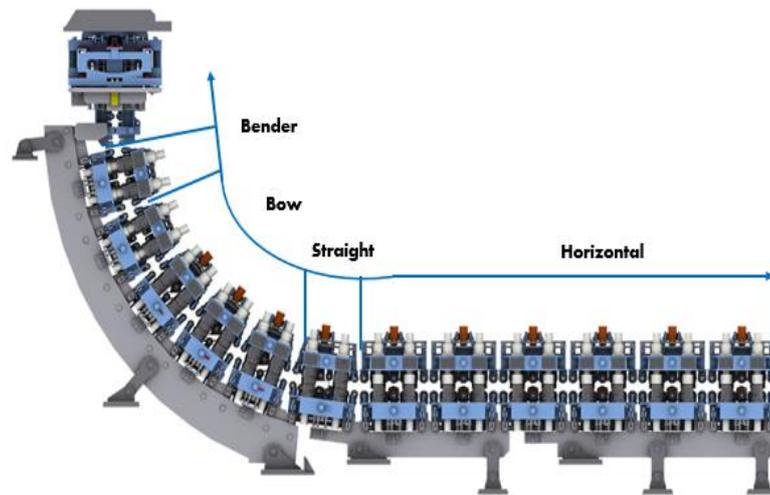
A máquina é composta pelo bender (segmento) dobrador e mais 15 segmentos, como na (FIG 12). Sendo:

Segmentos 1 ao 6: bow (curvadores);

Segmento 7 e 8: Straightener(desdobradores);

Segment 9 ao 15: Horizontal (desempenadores)

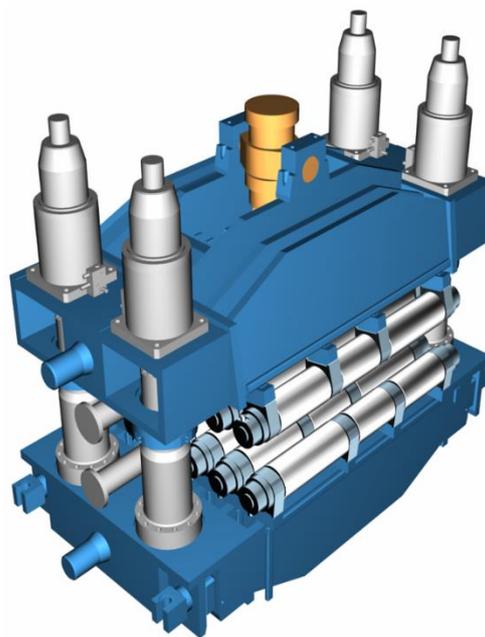
Figura 12 Fluxo grama processo de lingotamento placa



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Os segmentos têm como função guiar, suportar e transportar o veio quente durante o processo de solidificação, através de aplicação de força nos cilindros e conformação pelos rolos dos segmentos, como na figura 13.

Figura 13 Fluxo grama do segmento



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Cada segmento demonstrado a figura 14, possui 7 rolos superiores e 7 rolos inferiores.

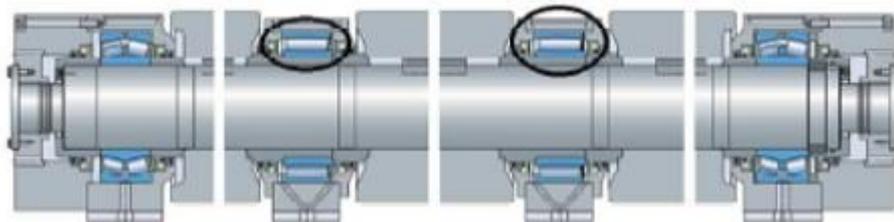
Figura 14 Rolos dos segmentos



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A concepção de montagem dos rolos, possuem quatro rolamentos que recebem graxa, sendo dois rolamentos laterais e dois centrais como na figura 15.

Figura 15 Rolos dos segmentos



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O sistema de lubrificação centralizado da máquina é responsável por lubrificar desde a torre panela até a última mesa de saída, sendo o único sistema de lubrificação centralizado da máquina, como na figura 16.

Recebimento

Reservatório Cap. 5000kg

1 Bomba Pneumática (Fornecedor Eximport)

Pressão de Trabalho 10 bar

Trabalho

Reservatório Cap. 5 m³

3 bombas Pneumáticas (2 operando + 1 stand by)

Pressão de trabalho: 250 Bar

1,5 cm³/hora ciclos por hora

Especificação da Graxa utilizada atualmente

Interlub UNILEX EXP2 (Graxa composição de Poliúria + Alumínio)

Figura 16 Rolos dos segmentos



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

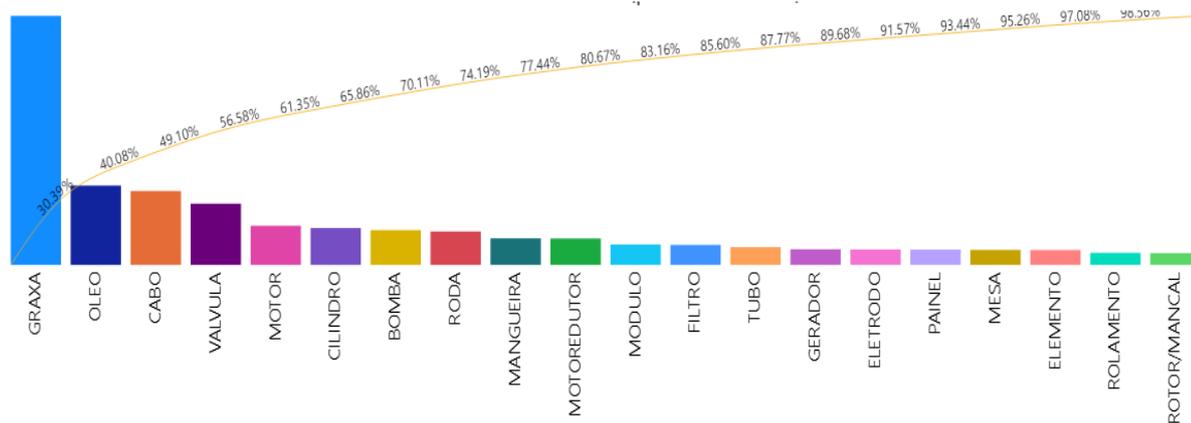
4.2 Análise do Problema

4.2.1 Reduzir custo com lubrificante

Afim de identificar as oportunidades de ganhos para manutenção baseado em melhorias nos pilares de lubrificação, buscou-se registros e controles de custos relacionados ao histórico de falha onde fosse possível encontrar e filtrar danos influenciados por ineficiência de lubrificação.

No gráfico Figura 17, através do Pareto foi possível observar que o maior custo na área é com a graxa atual utilizada (UNILEX EXP2) gerando um gasto em 2021 de R\$ 4.126,474 Mi e um consumo bem elevado de 68.500 mil KG no ano. Sendo também um dos gatilhos para desenvolver o trabalho visando redução de custo.

Figura 17 Gráfico de Pareto custo total de materiais

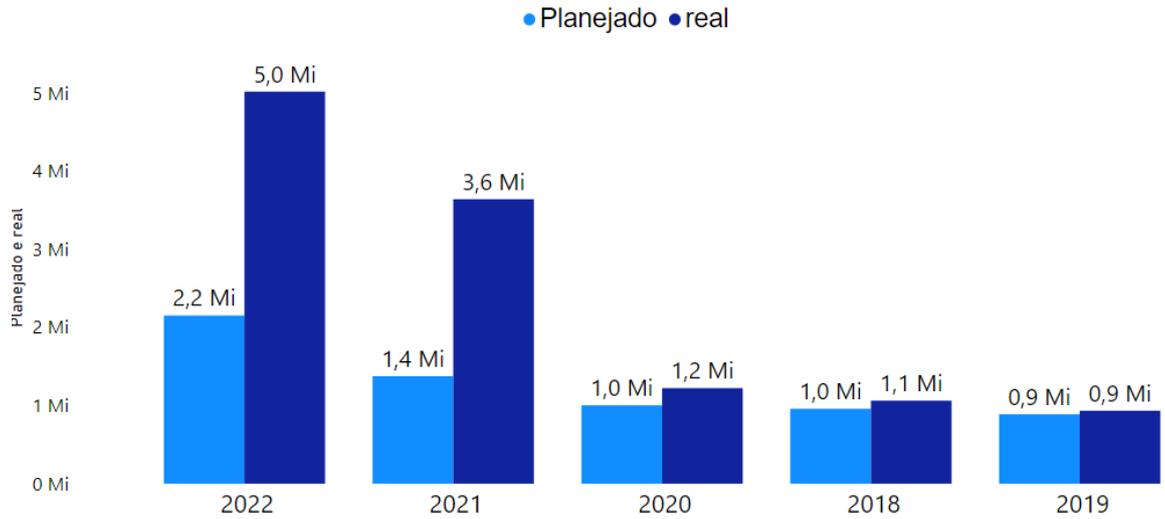


Mês	outubro		novembro		dezembro		Total		
	Palavra 1	\$	Qtd	R\$	Qtd	R\$	Qtd	R\$	Qtd
GRAXA		550,21	9.720,00	478.761,26	10.540,00	578.476,86	10.400,00	5.033.582,67	103.166,00
2021		550,21	9.720,00	478.761,26	10.540,00	578.476,86	10.400,00	5.033.582,67	103.166,00
GRAXA INTERLUB		379,85	6.480,00	290.690,50	4.320,00	485.282,85	7.200,00	4.126.474,22	68.500,00
GRAXA REF		140,23	2.520,00	132.303,26	4.420,00	65.032,29	2.300,00	622.235,31	23.550,00
GRAXA KLUBER		030,13	720,00	55.767,50	1.800,00	28.161,72	900,00	269.332,05	10.080,00
GRAXA TUTELA								14.851,07	1.000,00
GRAXA SHELL								690,02	36,00
OLEO		133,04	3.040,00	86.059,86	2.880,00	354.385,19	9.380,00	1.603.514,89	61.559,19
CABO		110,86	3.569,00	64.850,26	1.042,00	101.022,21	908,00	1.494.831,10	17.996,00

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Em análise dos indicadores relacionados ao consumo de graxa, verificamos que o maior custo de manutenção é em relação à lubrificantes na planta de lingotamento. Na figura 18, através do indicador observamos que houve um aumento em comparação com anos anteriores e com custo planejado anual da área com projeção de gasto no ano de 2022 de aproximadamente 5 Milhões.

Figura 18 Indicador de custo lubrificação na planta

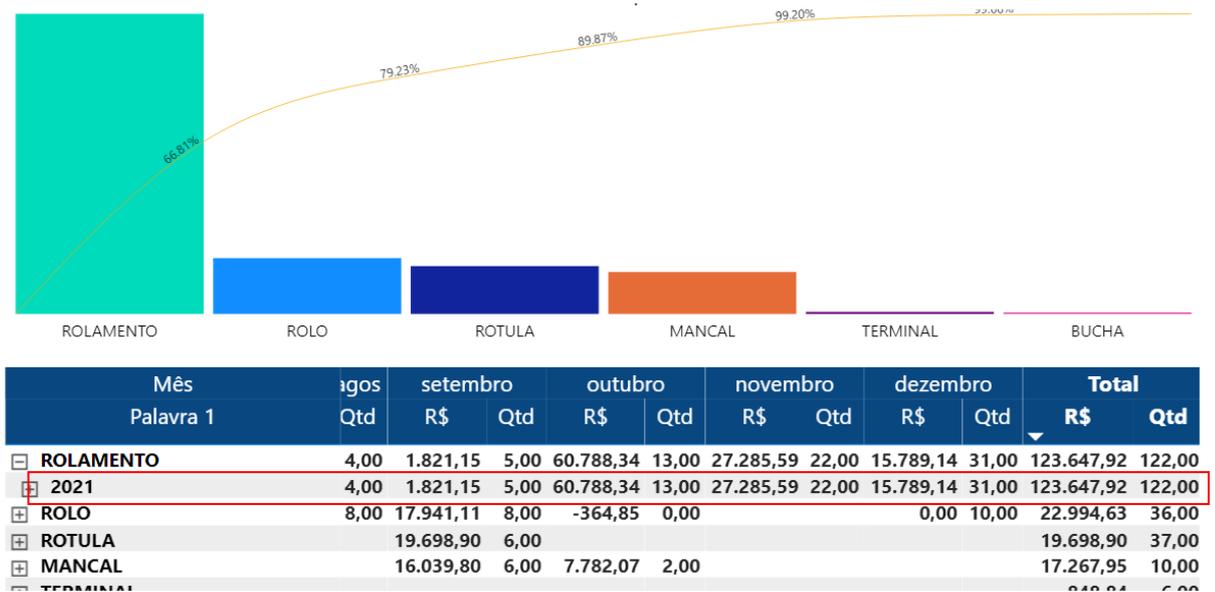


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.2.2 Reduzir custo com Rolamentos

No grafico figura 19 , o pareto direciona sendo um dos maiores custo de materiais é o são os rolamentos, gerando um gasto em 2021 de R\$ 123 Mil e consumo de 122 rolamentos no ano.

Figura 19 Grafico de pareto custo total de materiais

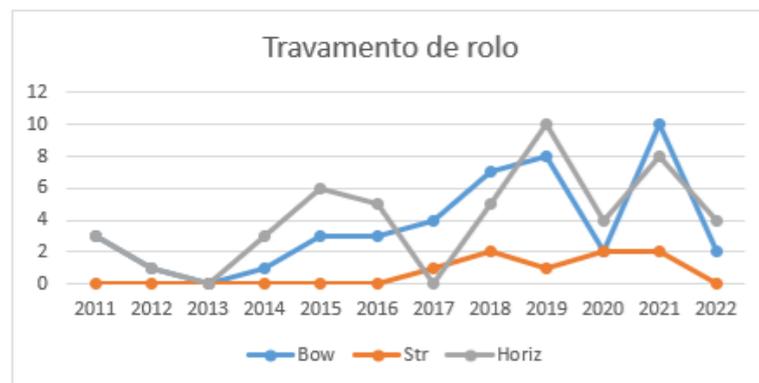


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.2.3 Reduzir falhas com travamentos de segmentos

Foi possível verificar quais as divisões de segmentos com o maior número de travamentos de rolos, sendo na região do Bow e Straightener, onde a concentração de carga é maior em função do processo de conformação em curva. Na figura 20 foi identificado um aumento de número de rolos travados ao longo dos anos.

Figura 20 Índice de falha por divisão de segmentos



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Em 2021 um novo estudo, como na figura 20 mostrou um aumento do número de segmentos substituídos por rolo travado.

Figura 21 Número de rolos travados

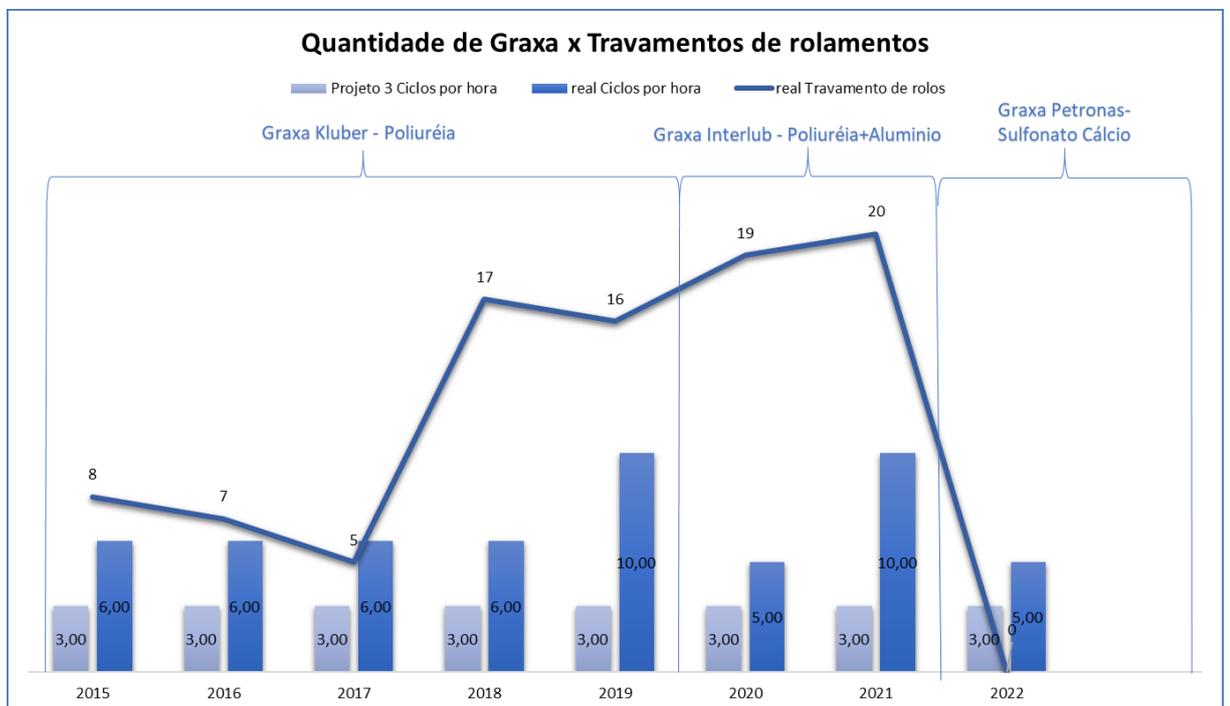


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.2.3 Reduzir consumo de lubrificação no sistema de lubrificação centralizado

Em consequência das falhas dos rolamentos dos segmentos, foram realizados constantes ajustes no sistema centralizado de graxa, aumentando a quantidade de graxa para os rolamentos conforme projeto 3 ciclos por hora chegando a 10 ciclos por hora. Observa-se também que em 2015 a 2019 utilizando a graxa de projeto Kluber, houve uma evolução de travamentos de rolos e ciclos por hora de lubrificação. Em 2020 foi aplicada graxa lubrificante Interlub pela equipe da área, onde foi reajustado o ciclo por hora de 10 para 5 não houve melhora, já em 2021 mantendo tendência de quebra de rolos, foi realizado novo aumento de graxa de 5 para 10. Em 29 de julho de 2022 foi alterado para graxa nova Petronas, reduzindo o ciclo de 10 para 5 ciclos por hora, até o momento sem registro de travamentos de rolos (graxa ainda em fase de transição de misturas). Expectativa que para próximo ano de 2023 realizar um novo ajuste para 3 ciclos por hora como de projeto e não registre nenhuma falha de segmentos por deficiência de lubrificação. A figura 22 demonstra a correlação de alteração de graxa, como aumento de número de ciclos e travamentos de segmentos.

Figura 22 Número de rolos travados

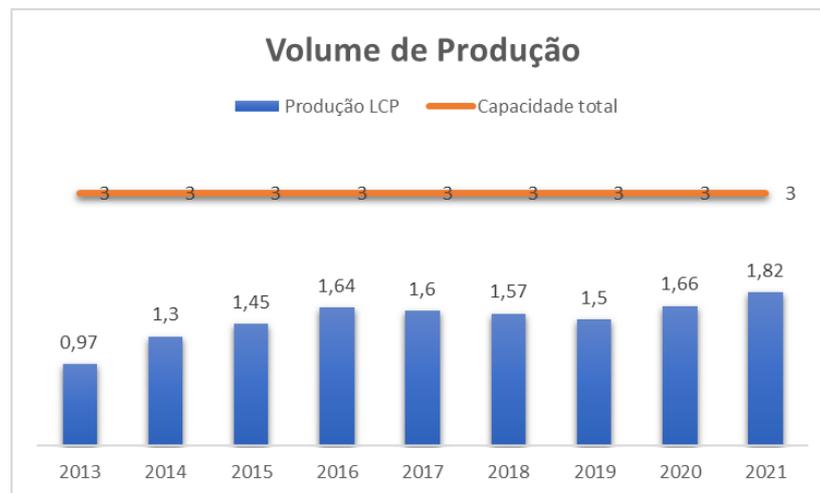


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.2.4 Aumentar volume de produção diminuindo intervalo entre falha dos segmentos

O volume de produção foi um indicador considerado para acompanhamento do projeto de lubrificação, como visto na figura 23, a capacidade de produção atual ainda não atingiu o máximo da capacidade planejado de 3 mil toneladas ano, devido as falhas nos segmentos.

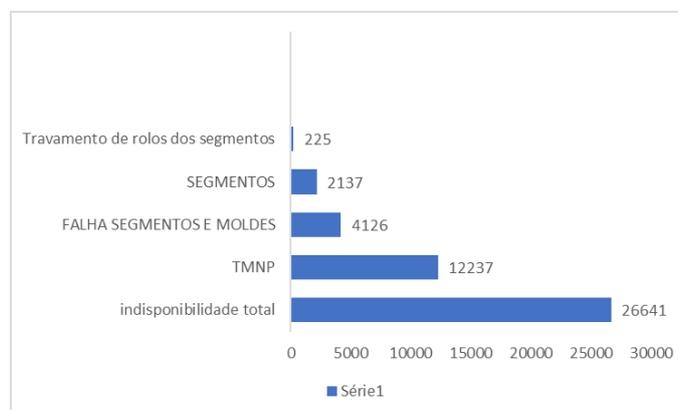
Figura 23 Indicador de capacidade de produção



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Através de uma estratificação das falhas, foi possível identificar na figura 24 onde foram os principais eventos de interrupção no processo, observamos que 26641 minutos registrado em um ano, devido a parada não programada (TMNP).

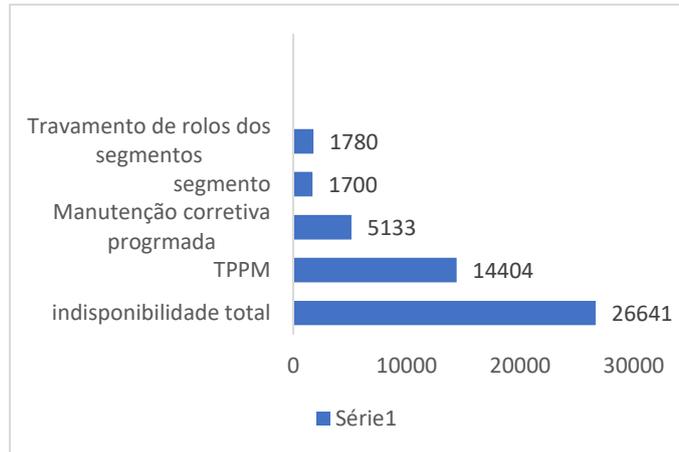
Figura 24 Registro de paradas não programado



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Foram registrados ao todo 14404 minutos de parada programada (TPPM), como na figura 25, onde os principais eventos foram registrados pela equipe de reparo da oficina de cilindros os o tempo de manutenção para troca dos travamentos dos rolos dos segmentos.

Figura 25 Registro de paradas por corretiva



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

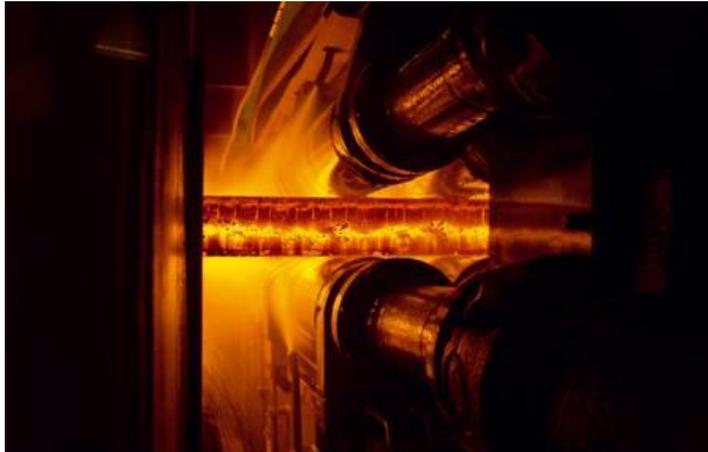
4.2.5 Levantamento em campo do processo

O levantamento de dados em campo foi crucial para estudar e avaliar as principais variações do processo de lingotamento que podem influenciar a lubrificação, sendo eles:

Influência da temperatura na graxa:

A temperatura da barra em seu processo de conformação é (1200/1300°C) como na figura 26, até a completa solidificação final que chega a (700/900°C). Para avaliação de desempenho de uma graxa, a norma que utilizada é ASTM D 566 mede o desempenho de resistência ao calor de uma graxa.

Figura 26 Temperatura Placa nos rolos de segmento



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.2.2.1 Influência da água na graxa:

A água do processo de refrigeração secundária que tem a finalidade de acelerar a solidificação do aço e fortalecer a pele solidificada, também tem a função de refrigerar o mancais de rolamento dos rolos como na figura 27.

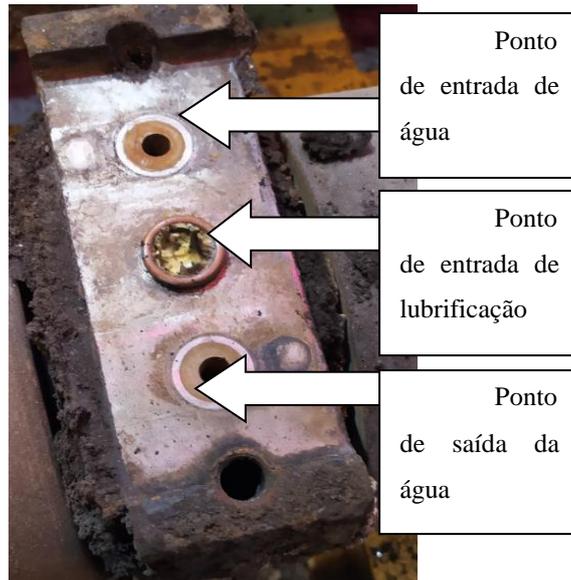
Figura 27 Sistema dos bicos spray de água nos segmentos



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Além da refrigeração dos bicos sprays, a máquina também possui refrigeração em todos mancais e rolos. Na figura 28, observa-se os pontos de entrada e saída de água e o ponto de lubrificação, para reduzir a influência da temperatura na graxa e nos rolamentos. Essa condição de refrigeração, possibilita entrada de água no rolamento, por alguma ocorrência de falha de vedação dos mancais.

Figura 28 Parte inferior do mancal



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.2.2.2 Alteração da graxa com a temperatura e água:

Observa-se degradação da graxa devido a temperatura e contaminação por água. Foi possível registrar na figura 29 abertura dos mancais de rolamento, a alteração da coloração. Rolamentos centrais foram os mais prejudicados por estes desvios.

Figura 29 Graxa dos rolamentos



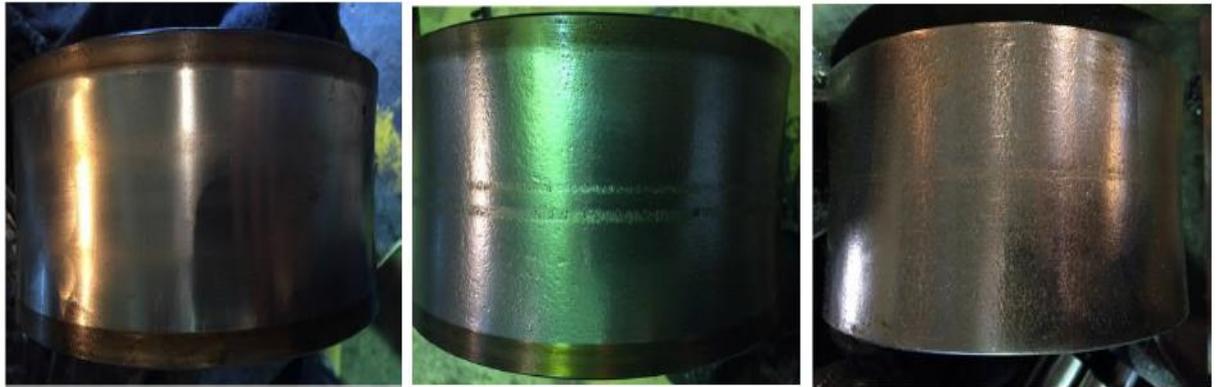
Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.2.2.3 Relatório de falhas nos rolamentos

No estudo realizado dos modos de falhas das principais quebras dos rolamentos, onde observamos os seguintes itens:

Na Figura 30 representa a fadiga superficial e subsuperficial, desgaste abrasivo. Evolução do menos para o mais deteriorado.

Figura 30 Modos de falha de anéis internos



Fonte: Dados de pesquisa (2014)

Na Figura 31 demonstra corrosões por umidade no centro do rolo, desgaste abrasivo e fraturas por fadiga nas extremidades dos rolos

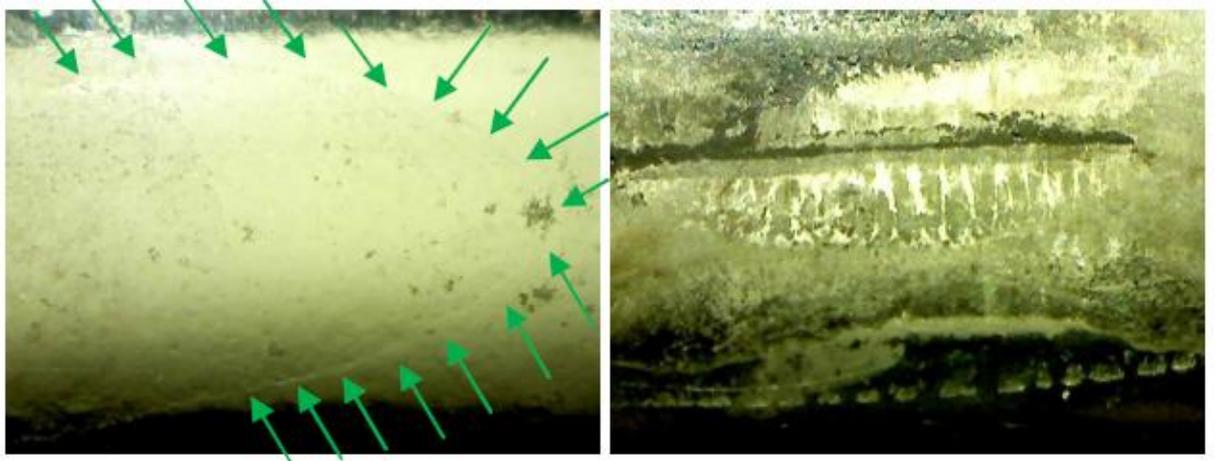
Figura 31 Modo de falha dos rolos



Fonte: Dados de pesquisa (2014)

Na Figura 32 demonstra corrosão por umidade desenvolvida antes e após a operação, respectivamente (microscópio x50)

Figura 32 Modo de falha dos rolos



Fonte: Dados de pesquisa (2014)

Na Figura 33 demonstra várias trincas distribuídas na zona de carga, região onde concentra maior esforço mecânico no rolamento.

Figura 33 Modo de falha caixa do mancal



Fonte: Dados de pesquisa (2014)

Na figura 34 observa-se fraturas longitudinais por fadiga, e fadiga subsuperficial na zona de carga.

Figura 34 Modo de falha anel externo



Fonte: Dados de pesquisa (2014)

4.2.2.4 Conclusão do laudo análise de falha do rolamento

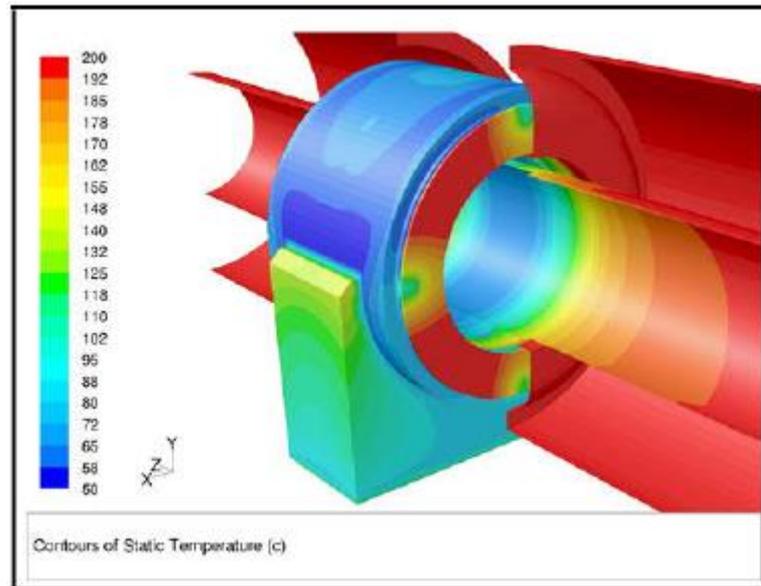
Principais modos de falha dos rolamentos são: desgaste abrasivo, fadiga superficial e subsuperficial, fratura por fadiga e corrosão por umidade.

Esses modos de falha sugerem a seguinte trajetória de falha, tendo em vista as condições típicas de operação das máquinas de lingotamento contínuo:

- deficiência de lubrificação, sendo essa mais incisiva nas extremidades do rolamento, conforme Figura 32. A corrosão por umidade contribui para essa condição, principalmente no centro do rolo, onde está localizada na figura 31;
- desprendimento de partículas por fadiga superficial e posteriormente, por fadiga subsuperficial e desgaste abrasivo;
- distribuição de carga irregular no rolamento e na caixa de mancal, ocasionando fraturas e intensificação do desprendimento de partículas.

Note que, a deficiência de lubrificação é intensificada nas extremidades por tratar-se da região de “penetração potencial” de contaminantes. Em adição, essa é a região onde são esperados os maiores gradientes de temperatura na figura 35.

Figura 35 Distribuição típica de temperatura em um mancal da Máquina de Lingotamento



Fonte: Dados de pesquisa (2014)

4.2.2.5 Análise da falha detalhada da deficiência de lubrificação.

Nota-se que a graxa UNIPLEX atualmente utilizada é diferente do lubrificante original sugerido em projeto. Ambos apresentam óleo mineral, espessante de poliuréia e consistência NLGI 2. Aparentemente, uma das diferenças está na presença de aditivos de extrema pressão na graxa atual.

Opcionalmente, sugere a graxa que apresenta óleo mineral, espessante de complexo de sulfonato de cálcio, consistência NLGI 2 e viscosidade 460cSt@40 °C. Trata-se de uma graxa com característica de extrema pressão, alta capacidade de carga e elevada resistência à presença de água e temperatura.

4.3 Plano de Ação e Resultados

Diante dos dados avaliados em campo, dos indicadores de performance e das falhas levantadas no relatório dos rolamentos, indicando certamente que existe um problema relacionado a deficiência de lubrificação, foi criado um plano de ação, que consiste em identificar, planejar, executar e acompanhar as ações que irão trazer os ganhos esperados com aumento de vida útil de componentes e redução de custos com lubrificante.

O projeto foi dividido em duas etapas conforme cronograma na tabela da figura 36:

Fase um demonstra todo o trabalho que vai do desenvolvimento da graxa, ensaios e testes em laboratório até a aplicação em campo direto na máquina.

Tabela 36 Projeto Lubrificação dos lingotamentos da Aciaria

Fase 1	ATI VIDADE	QUEM	DATA DE INÍCIO DO PLANO	DATA DE FIM DO PLANO	PERC ENTUAL CONCLUÍDO
	Apresentação da tecnologia da Petronas MRSC2 para a engenharia do Lingotamento Contínuo	Roberto	30/04/2022	01/05/2022	100%
	Visita à empresa Petronas e Mobil para avaliação e acompanhamento dos testes laboratório	Roberto/ Harlei/ Clever	23/04/2022	24/04/2022	100%
	Estudo de bombeabilidade e compatibilidade das graxas	Roberto	23/04/2022	24/04/2022	100%

Cont ação Robert Half suprimentos para fornecimento	Roberto	25/05/2022	26/06/2022	100%
Validar dados nas respectivas áreas	Roberto	30/05/2022	31/06/2022	100%
Levantar custo com lubrificante nas áreas (KPI)	Roberto/ Harlei/ Clever	31/05/2022	31/06/2022	100%
Levantar número de quebras de rolamentos Straightener (KPI)	Roberto/ Harlei/ Clever	01/06/2022	31/06/2022	100%
Levantar número de quebras de rolamentos Bow	Roberto/ Harlei/ Clever	01/06/2022	31/06/2022	100%
Levantar número de quebras de rolamentos Horizontal (KPI)	Roberto/ Harlei/ Clever	01/06/2022	31/06/2022	100%
Levantamento de TMNP (KPI)	Roberto/ Harlei/ Clever	01/06/2022	31/06/2022	100%

Solicitar tambores de graxa	Harlei	01/06/2022	31/06/2022	100%
Abaixar nível do reservatório	Harlei	01/06/2022	31/06/2022	100%
Realizar abastecimento com Graxa MRSC2	Harlei	31/06/2022	15/06/2022	100%
Acompanhar aplicação e bombeabilidade da graxa em campo	Harlei	31/06/2022	15/06/2022	100%
Mapeamento de seguimentos novos e usados para acompanhamento do desempenho do lubrificante (KPI)	Harlei	31/06/2022	15/06/2022	1100%

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A segunda fase consiste em acompanhamento do desempenho da graxa em campo, ou seja, acompanhar durante as preventivas dos segmentos, com objetivo de avaliar a performance da lubrificação nos rolamentos, e assim poder iniciar as próximas ações de redução do consumo de lubrificante nos mancais. Como na figura 37.

Figura 37 Projeto Lubrificação dos lingotamentos da Aciaria

Fase 2	Criar especificação Genérica dos resultados dos testes de desempenho da graxa para futuras modificações de lubrificante	Roberto	30/07/2022	01/08/2022	100%
	Análise de eventuais falhas associadas à lubrificação	Roberto/ Harlei	30/07/2022	31/12/2022	40%
	Acompanhamento da troca dos segmentos mapeados na Primetals/Simens	Roberto/ Harlei	30/07/2022	31/12/2022	20%
	Análise das condições da graxa após serviço	Roberto	30/07/2022	31/12/2022	70%
	Ajuste e de consumo por segmento	Harlei	30/07/2022	31/12/2022	50%

Ajuste e injeção de graxa	Harlei	30/07/2022	31/12/2022	20%
Criar NI para requisição dos Bags de 850 Kg de graxa dos Discharger Roller	Roberto	30/07/2022	31/12/2022	50%
Estruturação dos procedimentos operacionais Discharger Roller	Harlei	30/07/2022	31/12/2022	60%
Acompanhamento da troca dos segmentos mapeados na Primatals/Simens	Roberto/ /Harlei/ Clever	30/07/2022	31/12/2022	50%
Acompanhar progressão de redução de graxa no sistema de filtragem Recirculação água	Roberto/ Harlei/ Clever	30/07/2022	31/12/2022	30%

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.3.1 Ações propostas para seleção de lubrificantes

Uma das ações no plano de ação é o estudo e desenvolvimento do novo lubrificante, de acordo com as variações levantadas na operação do equipamento, foi realizado um estudo e criado uma especificação genérica de lubrificantes, possibilitando dimensionar de acordo com cada norma ASTM conforme figura 38, para ensaios em laboratório as principais variáveis do processo, como resistência a temperatura, resistência a lavagem por água, resistência a carga, bombeabilidade da graxa e resistência a corrosão.

Figura 38 Fluxo grama com as normas ASTM dos testes de performance



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A tabela abaixo figura 39 demonstra as normas que foram selecionadas para teste da graxa em laboratório:

Tabela 39 Normas ASTM para Testes em Lubrificantes

Propriedades Físicas	Método Padrão	Unidade / Parâmetro
Aparência Visual	Visual	-
Cor	Visual	-
Penetração Manipulada (60X)	mm/10	ASTM D217
Penetração Manipulada (100.000X)	mm/10	ASTM D217
Ponto de gota	°C	ASTM D2265

Desempenho	Método Padrão	Unidade / Parâmetro
Desgaste 4 balls (40kg, 75°C, 60 min)	mm	ASTM D2266
Carga de Solda 4 balls	kgf	ASTM D2596
Roll Stability (Diferença de penetração)	mm/10	ASTM D1831
Separação de óleo durante armazenagem	%	ASTM D1742
Water Washout (79°C)	%	ASTM D1264
Bombeabilidade à 20,0 °C	g/min	-

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O padrão utilizado para avaliação dos resultados obtidos em laboratório dos testes dos lubrificantes será validado com auxílio da tabela figura 40, onde cada candidato que forneceram o lubrificante específico de sulfonato de cálcio, receberam uma nota com base no desempenho do lubrificante.

Tabela 40 Testes de performance dos lubrificantes

Avaliação de cada lubrificante pelos membros do time						
Fornecedor A - Testes de Performance		Pontuação				
Produto 1 - Óleo Circulação Forçada		M1	M2	M3	M4	Média
ASTMD445 (Viscosímetro de fluxo capilar por gravidade)	Viscosidade 40°C	5	5	5	5	5
	Viscosidade 100°C	1	1	4	2	2
ASTMD2270 (Variação indexada de viscosidade entre 40°C e 100°C)	Índice de Viscosidade	0	2	2	4	2
ASTMD4172 (Taxa de Desgaste Four Ball)	Teste Padrão para as características de desgaste preventivas do fluido lubrificante)	1	2	6	4	4
ASTMD2783 (Ensaio Extrema Pressão - EP)	Carga de Taxa de Desgaste	1	2	2	4	3
ASTM D1401 (Demulsibilidade)	Capacidade de separação entre óleo e água	6	4	6	4	5
ASTMD4742 (Resistência a Oxidação)	Testes à Pressão e Temperatura Controlada	3	5	5	3	4
ASTMD665 B (Prevenção de Ferrugem)	Teste à presença de água	2	2	2	2	2
ASTMD189 (Resíduo de Carbono)	Medição de resíduos após aquecimento do óleo e evaporação	0	4	4	0	2
FTM 3009 (Capacidade de Filtração)	Limpeza e Filtrabilidade	2	6	4	4	4
Produto 2 - Óleo Hidráulico						
ASTMD445 (Viscosímetro de fluxo capilar por gravidade)	Viscosidade 40°C	1	4	1	2	2
	Viscosidade 100°C	0	2	0	2	1
ASTMD2270 (Variação indexada de viscosidade entre 40°C e 100°C)	Índice de Viscosidade	1	1	1	1	1
ASTMD4172 (Taxa de Desgaste Four Ball)	Teste Padrão para as características de desgaste preventivas do fluido lubrificante)	2	1	3	2	2
ASTM D1401 (Demulsibilidade)	Capacidade de separação entre óleo e água	0	1	2	1	1
ASTMD4742 (Resistência a Oxidação)	Testes à Pressão e Temperatura Controlada	0	2	1	1	1
ASTMD665 B (Prevenção de Ferrugem)	Teste à presença de água	7	1	3	2	2
ASTMD189	Resíduo de Carbono - após aquecimento do óleo e evaporação	1	2	2	3	2
FTM 3009 (Capacidade de Filtração)	Limpeza e Filtrabilidade	0	2	1	1	1
ASTM D2070 (Estabilidade Térmica de um óleo hidráulico)	Estabilidade na presença de cobre e de aço a 135 ° C.	2	1	1	4	2
Produto 3 - Graxa Múltiplas Aplicações						
FTM 313 (Penetração Trabalhada Prolongada)	Determina a consistência das graxas lubrificantes submetidas a trabalhos mecânicos severos.	2	4	1	1	2
ASTM D2509 (Teste de Carga Timken - Extrema Pressão)	Diferencia as graxas com baixo, médio, ou elevados níveis de características EP	0	1	2	1	1
ASTMD1264 (Resistência a Lavagem por Água)	Resistência de uma massa lubrificante à lavagem com água, a 38 ° C e 79 ° C .	2	1	4	2	2
DIN 51802 (Resistência a Corrosão)	Teste Emcor - resistência à corrosão em rolamentos na presença de água destilada, desmineralizada ou água salgada, sem carga aplicada.	1	2	1	4	2
ASTMD4425 (Estabilidade a Centrifugação)	Avalia o grau em que uma massa de graxa passa a separar-se em componentes fluidos e sólidos, quando sujeita a forças centrífugas elevadas.	1	1	1	1	1
ASTMD2266 (Taxa de Desgaste Four Ball)	Determina características de prevenção de desgaste de massas lubrificantes nas aplicações de aço-sobre-aço deslizante.	1	1	1	1	1
Pontuação Total - Qualidade dos Produtos						57

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Para conduzir o trabalho de desenvolvimento do novo lubrificante e selecionar o melhor através da tabela de performance, como na figura 41, foi selecionado nove fornecedores de graxa onde os mesmos disponibilizaram amostras para realização dos ensaios. As amostras recebidas foram identificadas por letras aleatórias, embaladas em recipientes específicos, e enviadas ao laboratório de pesquisa e desenvolvimento de graxas e lubrificantes para realização dos testes.

Figura 41 Amostras de Graxas recebida dos fornecedores de lubrificante



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O recebimento dos resultados do laboratório, foram pontuados na tabela e os resultados que demonstraram melhores desempenho nos testes de performance foram selecionados. Na figura 42 onde demonstra todos os resultados dos testes dos fornecedores, somente dois fornecedores que tiveram melhores pontuação foram selecionados como a empresa Petronas e Mobil.

Tabela 42 Resultados desempenho das graxas testadas em laboratório

ANÁLISE	MÉTODO	NORMA	FUCHS	TOTAL	ITW	INTERLUB	MOBIL	SKF	KLUBER	IPIRANGA	PETRONAS
Penetração Manipulada (60X)	mm/10	ASTM D217	279	301	266	294	282	295	312	260	266
Penetração Manipulada (100.000X)	mm/10	ASTM D217	290 (+11)	308 (+7)	277 (+11)	302 (+8)	335 (+53)	299 (+4)	325 (+13)	271 (+11)	277 (+11)
Ponto de gota	°C	ASTM D2265	296	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300	>300
Desgaste 4balls (40kg, 75°C, 60 min)	mm	ASTM D2266	0,51	0,42	0,44	0,42	0,39	0,42	0,45	0,43	0,43
Carga de Solda 4balls	kgf	ASTM D2596	620	500	500	500	500	500	400	620	500
Roll Stability Diferença de penetração)	mm/10	ASTM D1831	9	5	6	7	39	20	59	3	2
Corrosão por água (79°C)	%	ASTM D1264	8,7	6,6	6,9	4,3	4,8	4,3	4,6	4,9	2,6
Water spray off	%	ASTM D4049	47	58	50	39	16	59	65	32	31
EMCOR Test	-	ASTM D6138	Distilate Water: 0 Synthetic Water: 0	Distilate Water: 0 Synthetic Water: 1	Distilate Water: 0 Synthetic Water: 0	Distilate Water: 0 Synthetic Water: 0	Distilate Water: 0 Synthetic Water: 0				

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Os dois fornecedores que foram selecionados entre os nove, sendo a graxa Tutela MRSC2 e a graxa Centaur XHP462. O produto que melhor representou em desempenho e custo benefício como na figura 43, foi a graxa MRSC2.

Tabela 43 Segundo teste em laboratório

Graxa	Unit	TIPO	MRSC-2	CENTAUR XHP 462
			Sulfonato de calcio	Sulfonato de calcio
		CUSTO	R\$ 33,87	R\$ 49,60
Viscosidade	cst	ASTM	460	460
Consistencia	Grau NLGI	ASTM	2	2
Penetração Manipulada (60X)	mm/10	ASTM D217	266	282
Penetração Manipulada (100.000X)	mm/10	ASTM D217	277 (+11)	335 (+55)
Ponto de gota	°C	ASTM D2265	304	300
Desgaste 4balls (40kg, 75°C, 60 min)	mm	ASTM D2266	0,43	0,39
Carga de Solda 4balls	kgf	ASTM D2596	500	500
Roll Stability (Diferença de penetração)	mm/10	ASTM D1831	2	39
Lavagem por água (79°C)	%	ASTM D1264	2,6	4,8
Teste de bombeabilidade á 20°C, g/minutos	g/min	-	234 g/min em 60 s	106 g/min em 60 s

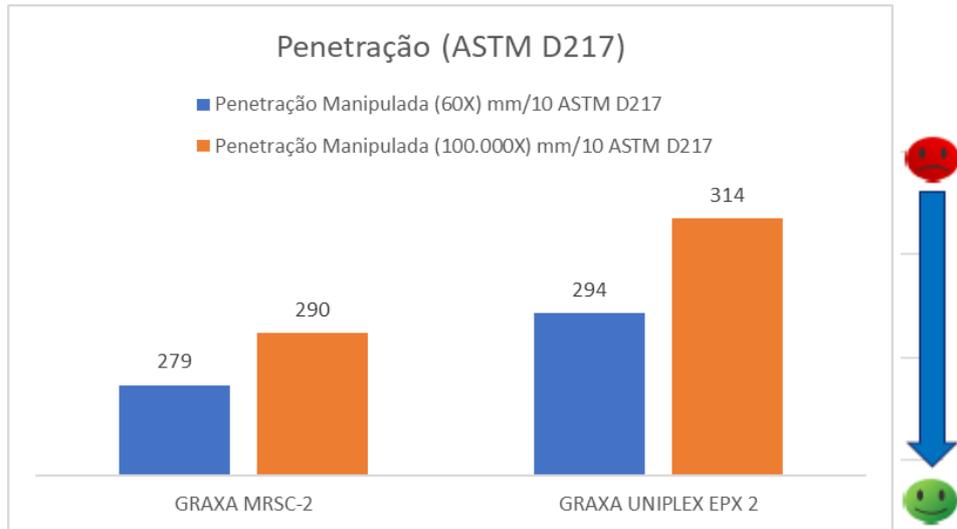
Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.3.2 Validação dos resultados com a área

Para fase de aprovação entre enhegaria e area de lingotamento, fez se necessário realizar um comparativo tecnico de performance dos resultados do lubrificante atual utilizado na area graxa Interlub Uniplex EXP2 com o lubrificante proposto Petronas MRSC2, através dos testes de desempenho em laboratorio. Os resultados obtidos e avaliação realizada a partir da comparação, foi apresentado a gerência e validado a o teste com a nova graxa Petronas MRSC2 em campo. Os testes comparativos apresentados logo abaixo:

Penetração (ASTM D217) – O grau NLGI é definido através da penetração trabalhada de 60 ciclos. O ensaio de penetração após 100.000 ciclos , visa simular e medir a estabilidade da graxa em uso após submetido aos cilcos de trabalho no teste. Neste ensaio, como Figura 44 quanto menor a variação da penetração, melhor é a estabilidade mecânica da graxa. Graxa Petronas MRSC 2 melhor resultado.

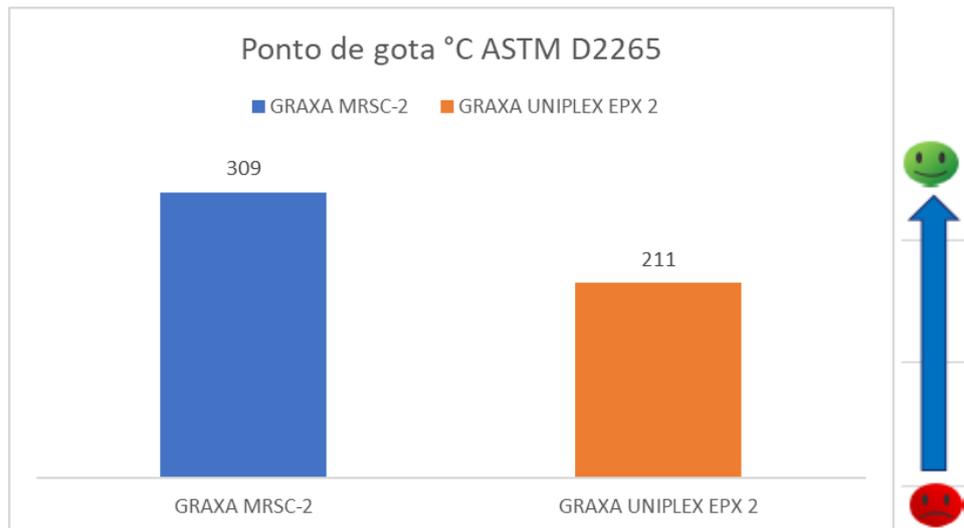
Figura 44 Teste desempenho resistência carga da graxa



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Ponto de gota (ASTM D2265) - O ponto de gota é a temperatura na qual a graxa em repouso sofre dissociação de seus componentes, ou seja, a temperatura que acontece a separação do óleo e do espessante. Neste ensaio, como na figura 45 quanto maior o numero maior sera a resistência da graxa a exposição a altas temperaturas. Graxa Petronas MRSC2 melhor resultado.

Figura 45 Teste desempenho resistência a temperatura

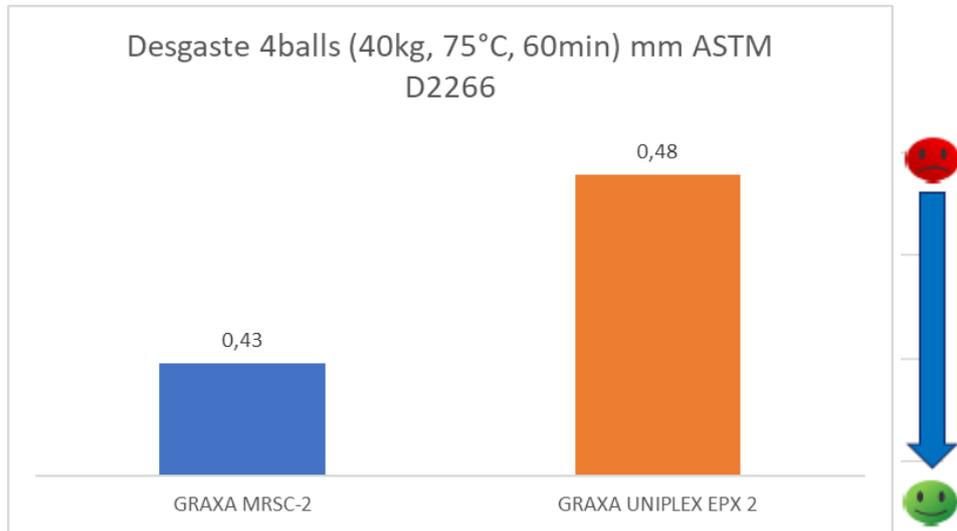


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Anti - Desgaste 4balls (40kg, 75°C, 60 min) (ASTM D2266) - Ensaio capaz de medir o tamanho do desgaste em milímetros na esfera que sofreu a soldagem. Neste ensaio, como na Figura

46, quanto menor o valor de desgaste na esfera, maior a carga suportada pela graxa. Graxa Petronas MRSC2 melhor resultado.

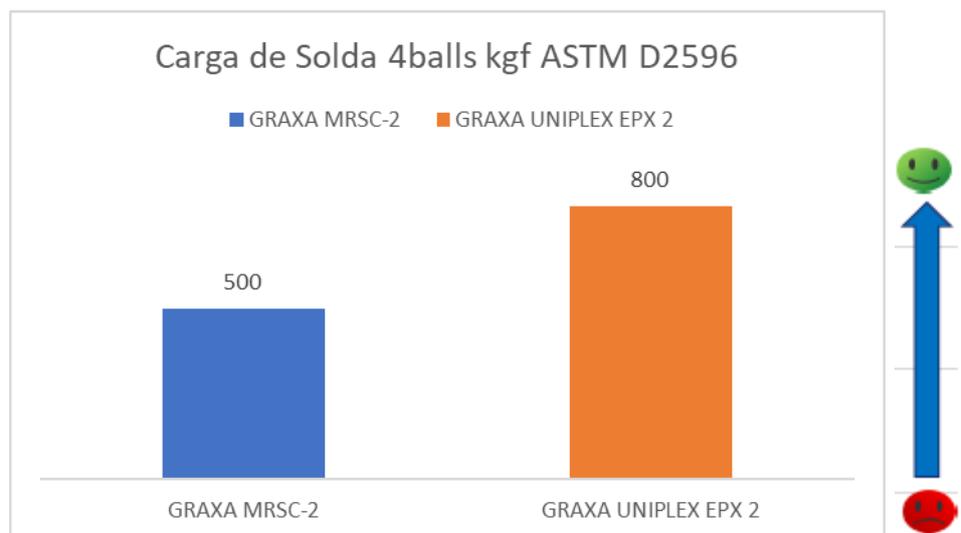
Figura 46 Teste desempenho resistência a carga da graxa



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Carga de Solda 4 balls (ASTM D2596) - Ensaio esse onde se mede a carga suportada pela graxa sem que haja falha na lubrificação entre as esferas de teste. Neste ensaio, como na figura 47, quanto maior o valor encontrado, maior será a capacidade do lubrificante de suportar às cargas atuantes. Graxa Interlub Uniplex EXP2 melhor resultado.

Figura 47 Teste desempenho resistência a carga da graxa

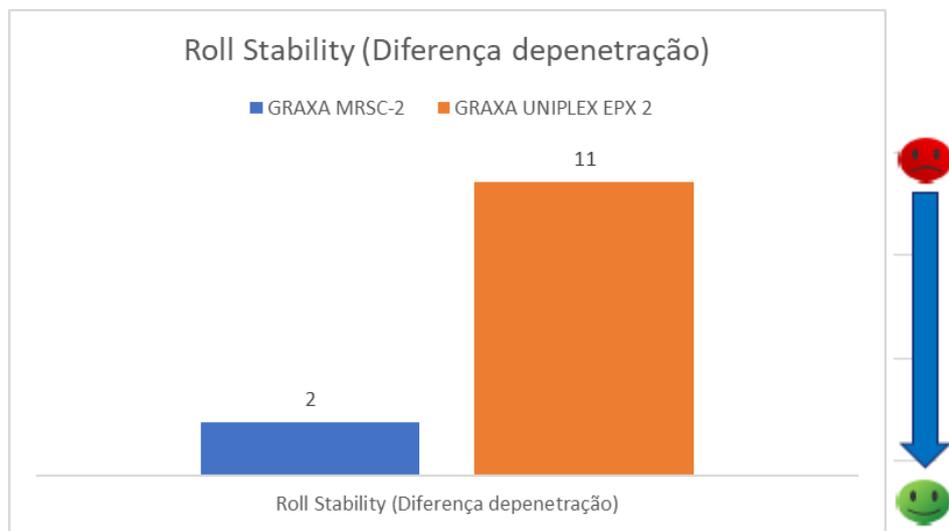


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Estabilidade a rolagem (ASTM D1831)- Um método mais atual para medição da resistência mecânica das graxas é o Roll Stability. Este método simula a aplicação prática, ou seja, a habilidade que a graxa em serviço tem de resistir a perda de consistência por cisalhamento mecânico ou stress.

Neste ensaio, como na figura 48, a variação da penetração antes e depois da graxa ser submetida as condições adversas do teste e quanto menor, melhor é a resistência mecânica da graxa. Graxa Petronas MRSC 2 melhor resultado.

Figura 48 Teste desempenho resistência a carga da graxa

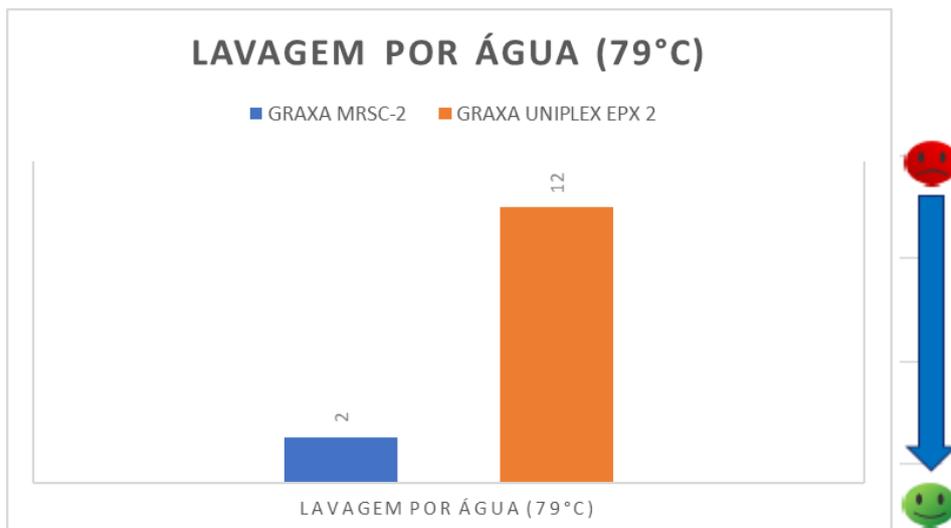


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Lavagem por água (ASTM D1264) - No teste de lavagem por água, uma amostra de graxa é inserida em um rolamento de esferas e submetido a uma vazão constante de água sob condições de teste controladas. O percentual de graxa retirada pela ação da água é medido através do peso.

Neste ensaio, como na figura 49, quanto menor o percentual de graxa removido pela ação da água, melhor será a resistência da graxa quanto ao efeito da lavagem por água. Graxa Petronas MRSC 2 melhor resultado.

Figura 49 Teste desempenho resistência a carga da graxa



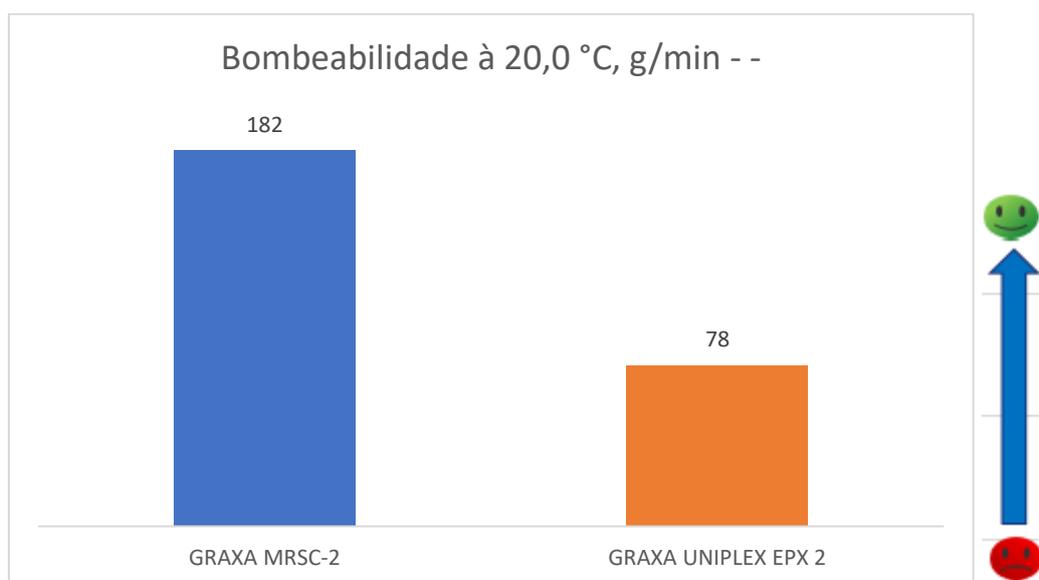
Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Teste de bombeabilidade - O ensaio de mobilidade de graxa a baixas temperaturas é utilizado para estimar as características referentes a capacidade de bombeamento.

Determina a adequação de graxas para aplicações em sistemas centralizados ou a granel, onde bombas, válvulas ou tubos são usados para distribuir ou transferir graxa.

Neste ensaio, como na figura 50, quanto maior o valor melhor é a bombeabilidade da graxa, mais leve é a graxa para fluir nas tubulações. Graxa Petronas MRSC 2 melhor resultado.

Figura 50 Teste desempenho de bombear a graxa



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Além dos ensaios propostos também foi solicitado análise de extras afim de evitar problemas com misturas de graxas nos sistemas e avaliar o comportamento da estabilidade mecânica da graxa nas proporções de misturas indicados e submetido a novos ensaios de desempenho:

4.3.3 Resultados testes de compatibilidade entre as graxas

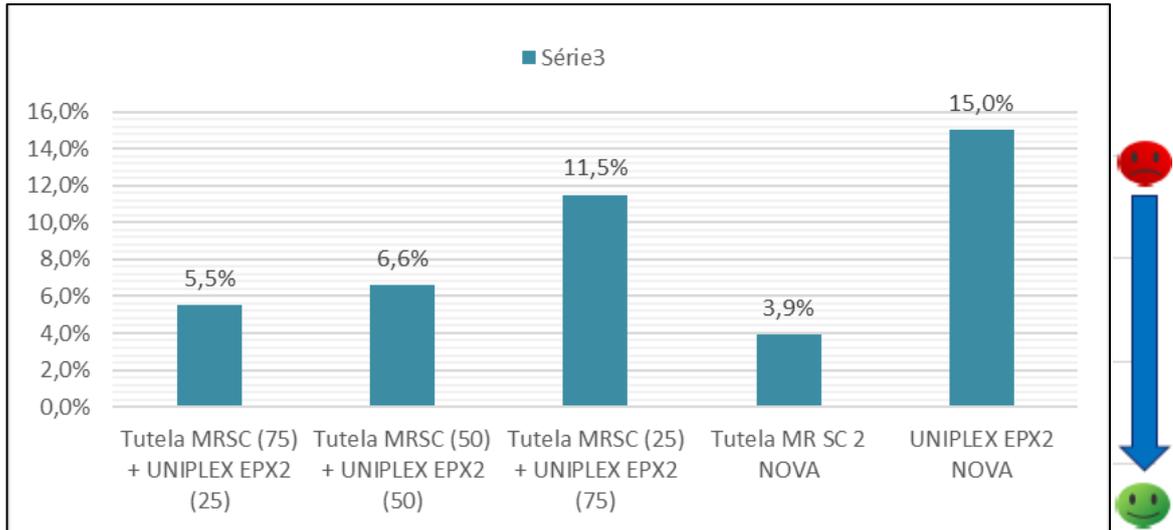
Para garantir que ao misturar as graxas em aplicação em campo, evitando riscos para o processo, foi realizado os testes de compatibilidade e Miscibilidade ASTM D6185.

Nestes ensaios são realizados dois testes como estabilidade mecânica e ponto de gota, que simulam como será a reação das graxas ao serem misturadas sem que haja efeitos adversos. Caso sejam misturadas graxas incompatíveis, a consistência resultante poderá mudar radicalmente, a ponto de causar danos nos rolamentos, por exemplo, em decorrência de vazamentos intenso, ou seja, se resultado encontrado for alto indica que as mesmas são incompatíveis.

O resultado da mistura no teste de estabilidade mecânica, indica que quanto menor a variação melhor o resultado.

Com as proporções de graxas novas 25%, 50% e 75%, como na figura 51 a graxa nova MRSC2 possui um valor de 3,9% contra a Uiplex EPX2 15%, em comparação demonstra uma variação maior de 11,1% de alteração da consistência após submetida a trabalho, indicando pior resultado em comparação a Petronas MRSC2. As proporções misturadas foram importante para avaliar qual seria a alteração das graxas as misturadas, ou seja conforme aumenta as proporções de mistura com graxa MRSC melhora significativa os resultados a resistência mecânica da graxa utilizada Uniplex EPX2.

Figura 51 Graxas misturadas para teste de estabilidade mecânica

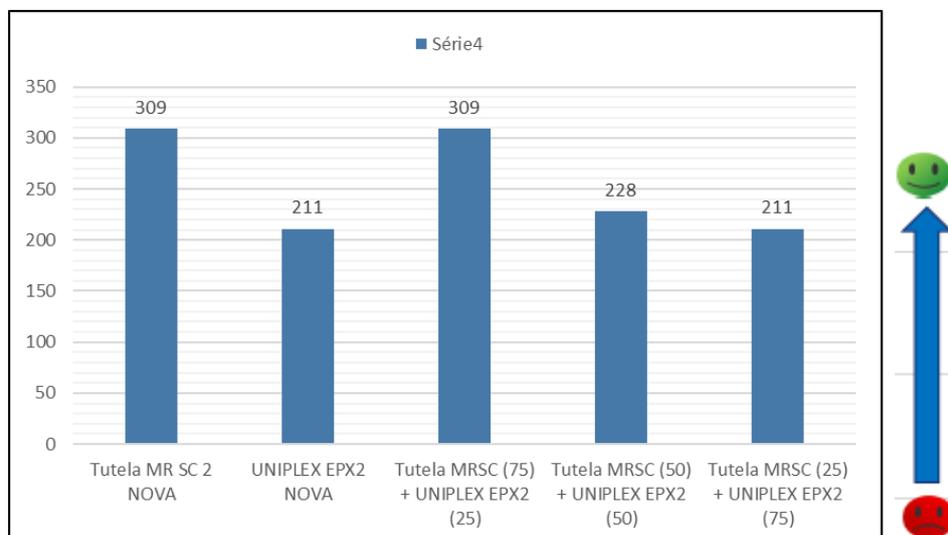


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Ainda avaliando o teste de compatibilidade, mantendo as mesmas proporções de mistura foi realizado a avaliação térmica das misturas através do ponto de gota, os resultados indicam que quanto maior o valor melhor a resistência a temperatura da graxa.

Neste ensaio, como na figura 52, percebe-se que a graxa em estado de novo Uniplex possui um valor 211 em comparação com graxa nova Petronas MRSC2 de valor 309. Os testes além de demonstrar que são compatíveis, foi possível observar que conforme aumenta as proporções de mistura com graxa MRSC2 existe uma melhora significativa na resistência a temperatura da graxa utilizada Uniplex EXP2.

Figura 52 Graxas misturadas para teste de Estabilidade Térmica



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.3.4 Teste de resistência a temperatura da graxa

Teste de queima em mufla (Alta temperatura) - Foram submetidas as graxas para verificação do comportamento das mesmas após queima, ou seja, verificação do resíduo gerado. Foram pesados 7,0 g da graxa em recipiente apropriado para altas temperaturas e submetido a queima por 30 min nas seguintes temperaturas: 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C e 700°C conforme demonstrado na figura 53.

Tabela 53 Teste queima em Mufla avaliação de resíduos

Temperatura	Petronas Tutela MRSC 2	GRAXA UNIPLEX EPX 2	Temperatura	Petronas Tutela MRSC 2	GRAXA UNIPLEX EPX 2
20°C			400°C		
% de resíduo	100,0	100,0	% de resíduo	77,8	84,3
200°C			500°C		
% de resíduo	99,5	99,0	% de resíduo	20,7	3,7
300°C			600°C		
% de resíduo	96,1	94,1	% de resíduo	18,0	1,0
			700°C		
			% de resíduo	16,2	1,0

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Foi observado que a graxa MRSC2 até à temperatura de 400°C a mesma está em forma de graxa (pastosa), diferente da graxa da Uniplex EPX 2 que em 300°C já está em forma líquida, ou seja, a resistência a temperatura da graxa MRSC2 é superior podendo ser comprovado no teste prático de queima.

Quanto ao resíduo gerado após a queima 700°C, observamos que o resíduo gerado pela graxa MRSC2 de 16 g e Uniplex Epx 2 sendo 1.0 g são em forma de cinzas que se dissolve com

facilidade, comparando com as demais graxas os valores são considerados baixos não tem risco de obstrução em caso de solidificação em tubulações caso ocorra queima por temperatura alta na área de aplicação.

4.3.5 Aplicação da nova graxa em campo

Após validação dos resultados com equipe das áreas, iniciou-se aplicação da graxa nova em campo na data 31/06/2022 como na figura 54.

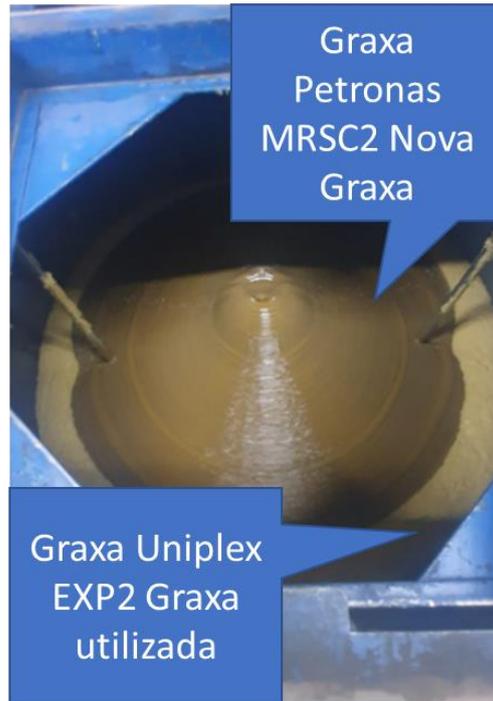
Figura 54 Reservatório de graxa do lingotamento



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A figura 55 demonstra a mistura das graxas no reservatório sendo com cor marro mais escuro a graxa nova MRSC e a graxa utilizada Uniplex EXP2 de cor marrom clara.

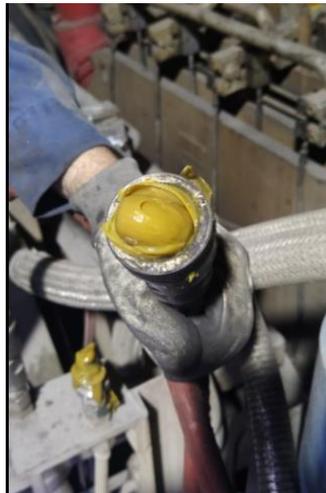
Figura 51 Mistura das graxas no reservatório de lubrificação



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Durante a parada preventiva programada foi possível inspecionar a mistura da graxa na tubulação do sistema centralizado de lubrificação em campo, visualmente como na figura 52, percebe-se que apresenta a coloração da graxa nova MRSC marrom escuro, indicando que a mesma está sendo bombeada sem nenhuma interferência ou queima pela presença da temperatura.

Figura 52 Registro da graxa nova MRSC na tubulação



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Na preventiva foi observado também a graxa nova MRSC2 saindo normalmente pelo labirinto do mancal, figura 53 demonstra os pontos de saída de drenagem dos rolamentos, fluindo bem nas tubulações e sem interferência de possíveis obstrução nas tubulações.

Figura 53 Registro da graxa nova MRSC na saída redentor



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Registro em campo podemos observar na figura 54, a graxa nova Petronas MRSC saindo normalmente pelo lateral dos rolamentos no rolo do mancal.

Figura 52 Registro da graxa Petronas MRSC na saída drenagem do mancal

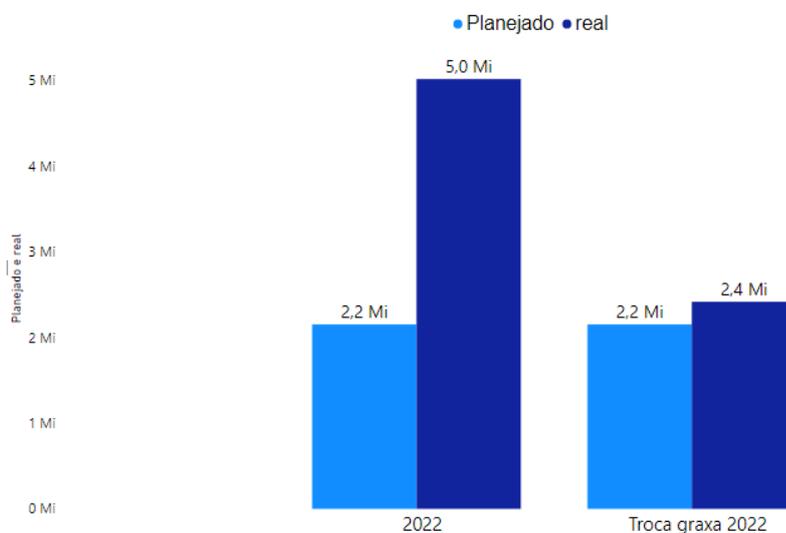


Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.3.6 Ganhos

De acordo com o custo planejado anual da área a projeção de gasto no ano de 2022 seria aproximadamente R\$ 5 Milhões., percebe-se que somente com troca do lubrificante no mês de junho de 2022, a empresa deixou de gastar R\$ 2.6 Milhões até dezembro de 2022, como mostra a figura 53.

Figura 53 Redução do custo no ano de 2022



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

4.3.7 Ganhos

A redução no custo com a troca da graxa mantendo o mesmo consumo praticado atual 73.800 kg anual conforme a tabela da figura 54, possibilitou redução de R\$ 2.968.974,00.

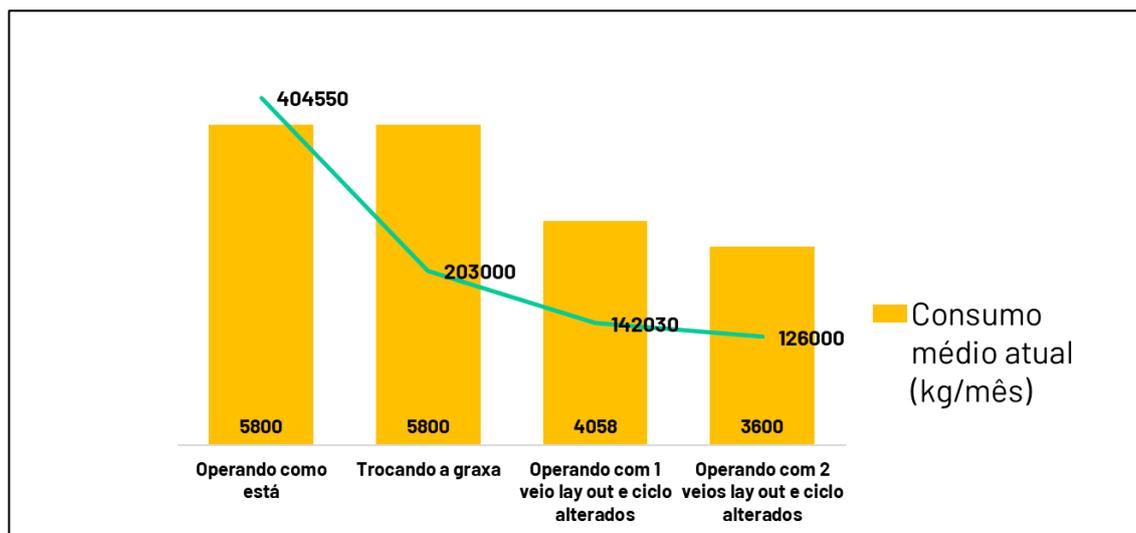
Tabela 54 Redução de custo com lubrificante

RESUMO - INTERVALO DE TEMPO - 11/06/2021 A 07/06/2022									
Equipamento	Lubrificante Utilizado	Preço por Quilo Atual	Volume Total Praticado (Quilos)	Custo Total Praticado	Lubrificante Proposto	Volume Total Proposto (Quilos)	Preço por Quilo Atual	Volume Total Praticado (Quilos)	Ganho Financeiro Proposto
LING.DE PLACA	14105162 - GRAXA INTERLUB UNIPLEXEXP2 TB 180KG	R\$ 74,10	73.800	R\$ 5.468.580,00	10397665- PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL SA	73.800	33,87	R\$ 2.499.606,00	R\$ 2.968.974,00
GANHO POTENCIAL TOTAL							R\$	2.968.974,00	

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Após a aplicação do novo lubrificante e acompanhamento na máquina, em apenas 6 meses de operação foi possível realizar os primeiros ajustes do sistema de lubrificação reduzindo no veio 1 de 5800 Kg para 4058 Kg e no veio 2 de 5800 Kg para 3600 Kg como na figura 54. Essa redução gerou mais uma economia de R\$ 800.000,00 ano.

Figura 54 Redução de custo com lubrificante



Fonte: Dados da pesquisa (2022)

5 CONCLUSÕES

No trabalho realizado junto a pesquisa e análise, foi possível ampliar a visão do vasto número de oportunidades de melhorias existentes em um processo principalmente em quesito a lubrificação onde normalmente não é dado tanta importância no setor produtivo. Neste trabalho foram apontadas algumas das causas dos custos de manutenção elevados e perdas de ativos prematuramente, para isso, foi fundamental o estudo dos conceitos de lubrificação e manutenção, bem como a aplicação destes.

Foi possível expor o processo de manutenção descrevendo as melhores práticas para desenvolvimento de lubrificação, através de dados e fatos comprovando que nem sempre o produto mais caro é o melhor. A criação de uma especificação genérica, evidenciando os valores através

dos relatórios laboratoriais, possibilitou criar um controle de qualidade para as futuras entregas ou trocas de lubrificantes.

Este trabalho também possibilitou atingir os objetivos propostos, várias foram as ações determinadas para que os resultados fossem alcançados: Especificação de lubrificante, adequação de lubrificante para os rolamentos dos segmentos, registro de testes de desempenho para validação nas áreas, aprofundamento nos conhecimentos de lingotamentos contínuo, integração com as empresas fornecedoras de graxas, acompanhamento em todo o processo de análise laboratorial das graxas testadas garantindo maior conhecimento no conceito lubrificação.

De acordo com os fatos mencionado, algumas das ações na fase 2 já foram concluídas, evidenciando alguns meses sem registro de interrupção.

Portanto, o trabalho desenvolvido gerou uma contribuição acadêmica e a nível profissional e industrial consolidada em manutenção e principalmente sobre lubrificação.

Espera-se que esta pesquisa seja uma fonte de consulta para os profissionais e estudiosos da área de manutenção e lubrificação.

Por fim, propõe-se que este projeto seja replicado a outros equipamentos e máquinas de igual ou maior importância operacional adequando-se às exigências técnicas, visando o ganho de produtividade e redução dos custos.

Propostas Futuras

A conclusão da etapa 2 do projeto, espera-se uma redução de custo ainda maior com consumo de lubrificantes e custo de segmentos travados. Observa-se que no acompanhamento do indicador da figura 55, mesmo aumentando a quantidade de graxa para os rolamentos a quebra ainda se mantinha

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEVRAND, L. J. S. (Coord), REIS, G. O. N. dos (Coord) Lingotamento Contínuo de Billets. Curso Associação Brasileira de Metais – ABM. São Paulo, 1989. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Lingotamento_cont%C3%ADnuo >

ALMEIDA, M. T. D. Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade. **Mtaev**, 2000. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>>. Acesso em: 07 abril 2022.

GARCIA, A. et al. **Lingotamento Contínuo dos Aços**. São Paulo, SP, Brasil: ABM, 2005.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção**: Função estratégica. 3ª edição. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

MARCELO ATILIO GRACIA, MSC.; **Curso Lubrificação de Maquinas – módulo I**.

Noria Corporation, Empresa Líder mundial em educação e Consultoria sobre Lubrificação e Análises de óleo de Equipamentos 2019.

MOBIL: Conceitos básicos sobre graxas lubrificantes. Edição 2012, Mobil Exxon Mobil Corporation

ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnica - NBR5462, **Confiabilidade e Manutenibilidade**.

ASTM INTERNATIONAL - Standard Test Methods for Cone Penetration of Lubricating Grease - Disponível em: <http://www.shxf17.com/pdf/ASTMD217-02.pdf> -Acesso em: 12/08/2022.

CARRETERIO, R. P.; BELMIRO, P. N. A. **Lubrificantes e lubrificação industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

RUPF, M. G. S. (2018). Análise de Desgaste do Sistema de Engrenagem / Rolamento de um Redutor Via Inspeção Vibracional e por Ultrassom. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, Publicação: ENM-DM 275/2018, Faculdade Unb Darcy Ribeiro/FT/Universidade de Brasília, DF.

Apostila Profissional da lubrificação – Carlos Eduardo Camilo

CONDIÇÃO de lubrificação - a relação de viscosidade, k. **skf**. Disponível em: <www.skf.com/Br/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-based-on-rating-life/lubrication-condition-viscosity-ratio/index.html>. Acesso em: 9 maio 2022.

CORPORATION, N. Machinery Lubrication. **Lubrication Regimes Explained**, 2017. Disponível em: <<http://www.machinerylubrication.com/Read/30741/lubrication-regimes>>. Acesso em: 9 maio 2022.

JÚNIOR, D. D. **Tribologia, Lubrificação e Mancais de Deslizamento**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2005.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção**: Função estratégica. 3ª edição. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

APÊNDICES

Elemento pós-textual que se constitui em documentos e textos elaborados pelo autor, que servem de comprovação para a argumentação do texto.

ANEXOS

Elemento pós-textual que se constitui em documentos e textos existentes, que servem de comprovação para a argumentação do texto