

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG
ENGENHARIA MECÂNICA
EVAIR MARTINS DE SOUSA

ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO APLICADA NO DIMENSIONAMENTO DA
LUBRIFICAÇÃO DE MÁQUINAS UTILIZADAS POR INDÚSTRIAS
ALIMENTÍCIAS DE NUTRIÇÃO ANIMAL

Varginha
2019

EVAIR MARTINS DE SOUSA

**ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO APLICADA NO DIMENSIONAMENTO DA
LUBRIFICAÇÃO DE MÁQUINAS UTILIZADAS POR INDÚSTRIAS
ALIMENTÍCIAS DE NUTRIÇÃO ANIMAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do professor Msc. Jonathan Oliveira Nery e coorientação do Esp. Marcos Felipe de Sousa Figueredo.

**Varginha
2019**

EVAIR MARTINS DE SOUSA

**ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO APLICADA NO DIMENSIONAMENTO DA
LUBRIFICAÇÃO DE MÁQUINAS UTILIZADAS POR INDÚSTRIAS
ALIMENTÍCIAS DE NUTRIÇÃO ANIMAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica, sob aprovação da Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Msc. Jonathan Oliveira Nery

Professor

Professor

OBS.:

DEDICATÓRIA

À Deus, pelos dons recebidos; aos meus pais, por me trazerem à vida; aos meus avós, pela tutela e educação; à minha noiva, pela paciência e parceria.

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Msc. Jonathan Oliveira Nery, sua orientação e valorosa competência foram primordiais para a realização desse trabalho.

Ao Esp. e coorientador, Marcos Felipe de Sousa Figueredo, responsável pela engenharia de manutenção da empresa onde foi implantada toda metodologia, sua cooperação e profissionalismo foram de grande importância nesse projeto.

A meu irmão Hélder Martins de Sousa, pela revisão e correção condizentes à norma culta de língua portuguesa.

Aos professores e amigos que contribuíram de maneira direta ou indireta para que esse trabalho fosse realizado.

"Há três caminhos para o fracasso: não ensinar o que se sabe, não praticar o que se ensina, e não perguntar o que se ignora."

São Beda

RESUMO

As indústrias de manufatura alimentícia são compostas por máquinas que atuam na transformação de matéria prima em produtos acabados ou semiacabados, grande parte dessas máquinas exercem movimentos rotativos sobre rolamentos lubrificados com graxa. Apesar da lubrificação ser de extrema importância para garantir o pleno funcionamento dos equipamentos, muitas empresas, simplesmente por desconhecer os benefícios que se pode obter ao lubrificar corretamente os ativos tendem a negligenciar essa forma de manutenção. Este trabalho consiste em aplicar metodologias de dimensionamento e gestão de manutenção para monitorar os resultados obtidos através das atividades de lubrificação em rolamentos que, compõem maquinários utilizados na fabricação de ração animal. Baseando-se em manuais de fabricantes e literaturas técnicas, desenvolve-se procedimentos capazes de parametrizar a administração da graxa em elementos rolantes, possibilitando adequar as quantidades e periodicidades de relubrificação mais indicadas para cada equipamento. A utilização da metodologia foi iniciada em janeiro de 2018 e as análises de causa foram baseadas em dados obtidos entre janeiro e setembro de 2018 e 2019. Após o período mencionado notou-se resultados indiferentes no indicador de tipos de manutenção executadas, porém, foram alcançados melhores índices de disponibilidade de máquina sendo mensurado um acréscimo mensal médio de até 27,30% no tempo médio entre falhas, sendo que o maior benefício é a redução do lucro cessante. Tocante a manutenção do estoque de rolamentos obteve-se, também, um decréscimo médio de 22,56% da receita mensal direcionada para aquisição de rolamentos estocáveis. Neste interim, tem-se que a lubrificação sistematizada e organizada pode aumentar a performance da produção industrial e auxiliar na redução de custos no produto final.

Palavras-chave: Indústria alimentícia. Lubrificação industrial. Disponibilidade operacional.

ABSTRACT

The food manufacturing industries are machines that transform raw materials into finished or semi-finished products, most of these machines rotate grease-lubricated bearings. Although lubrication is of utmost importance to ensure the full functioning of equipment, many companies simply because they are unaware of the benefits that can be gained from properly lubricating assets tend to neglect this form of maintenance. This work consists of applying sizing methodologies and maintenance management to monitor the results obtained through the lubrication activities in bearings that make up machinery used in animal feed manufacturing. Based on manufacturers' manuals and technical literature, procedures are developed that can parameterize the administration of grease in rolling elements, allowing to adapt the most suitable amounts and relubrication periodicity for each equipment. The use of the methodology was started in January 2018 and the cause analyzes were based on data obtained between January and September 2018 and 2019. After the mentioned period there were indifferent results in the indicator of types of maintenance performed, but were achieved better machine availability rates with an average monthly increase of up to 27.30% in the average time between failures, the biggest benefit being the reduction in lost profit. With regard to the maintenance of the bearing stock, there was also an average decrease of 22.56% of monthly revenue for the purchase of stock bearings. In the meantime, systematized and organized lubrication can increase the performance of industrial production and help reduce costs in the final product.

Keywords: *Food industry. Industrial lubrication. Operational availability.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de distribuição de manutenção.....	16
Figura 2 - Exemplo de <i>MTBF</i> anual.	17
Figura 3 - Curva de Stribeck.	19
Figura 4 - Percentual de custos de manutenção.....	30
Figura 5 - Falha prematura de rolamentos.	30
Figura 6 - Lubrificação manual com pistola.	32
Figura 7 - Lubrificação com copo stauffer.....	32
Figura 8 - Sistema de lubrificação centralizado.	33
Figura 9 - Diagrama de intervalo para relubrificação com graxa.....	36
Figura 10 - Aferição de temperatura.....	40
Figura 11 - Análise de vibração em mancal de rolamento.....	41
Figura 12 - Rolamento emitindo vibrações.....	41
Figura 13 - Identificação dos locais de instalação.....	42
Figura 14 - Tacômetro digital.....	44
Figura 15 - Rota de lubrificação.....	46
Figura 16 – Método utilizado para determinar quantidade de graxa.....	50
Figura 17 - Bombas de graxa.....	53
Figura 18 - Instrumento <i>SPM</i>	54
Figura 19 - Medição de temperatura.....	55
Figura 20 - Quantidade de graxa por bombeada.....	56
Figura 21 - Distribuição de manutenção.....	58
Figura 22 - Indicador de <i>MTBF</i> , unidade II.	59
Figura 23 – Indicador de <i>MTBF</i> , unidade III.	60
Figura 24 - Indicador de <i>MTBF</i> , unidade VI.	60
Figura 25 - Custo com estoque de rolamentos.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de manutenção e suas características.	15
Quadro 2 - Composição base dos lubrificantes.	21
Quadro 3 - Viscosidade padrão ISO.	23
Quadro 4 - Características e aplicações de graxas.	26
Quadro 5 - Número de consistência das graxas.	27
Quadro 6 - Classificação dos lubrificantes atóxicos.	29
Quadro 7 - Fatores de correção.	37
Quadro 8 - Legenda das siglas dos equipamentos.	47
Quadro 9 - Codificação de setores.	48
Quadro 10 - Ficha técnica, graxa grau alimentício.	51
Quadro 11 - Ficha técnica, graxa convencional.	52
Quadro 12 - Equipamentos/amostras unidade II.	68
Quadro 13 - Equipamentos/amostras unidade III.	69
Quadro 14 - Equipamentos/amostras unidade VI.	69
Quadro 15 - Valores médios de referência para cálculos.	70
Quadro 16 - Relação entre nd_m e NGLI.	72
Quadro 17 - Período e quantidade de graxa para relubrificação.	74
Quadro 18 - Rota de lubrificação.	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 MANUTENÇÃO APLICADA NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO	14
2.1 Tipos de manutenção industrial.....	15
2.2 INDICADORES DE MANUTENÇÃO.....	15
2.2.1 Indicador por tipos de manutenções.....	16
2.2.2 Indicadores de <i>MTBF</i>	16
3 LUBRIFICAÇÃO INDUSTRIAL	18
3.1 Lubrificantes	20
3.1.1 Óleos lubrificantes.....	21
3.1.1.2 Viscosidade cinemática	22
3.1.1.2.1 Índice de viscosidade.....	22
3.1.1.3 Ponto de fluidez.....	23
3.1.1.4 Ponto de Fulgor	24
3.1.2 Graxas.....	24
3.1.2.1 Testes de eficiência em extremas pressões	27
3.1.3 Lubrificantes atóxicos	28
3.2 Gestão da lubrificação industrial.....	29
3.3 Lubrificação de mancais de rolamentos	31
3.3.1 Lubrificação de rolamentos com graxa	33
3.3.2 Metodologia para indicar a consistência da graxa	33
3.3.3 Quantidade de graxa para lubrificação de rolamentos	34
3.3.4 Intervalo de relubrificação para mancais de rolamento.....	35
3.3.5 Quantidade de graxa utilizada na relubrificação.....	37
3.4 Técnicas para analisar a eficiência da lubrificação em rolamentos	38
3.4.1 Inspeções por análises térmicas	39
3.4.2 Inspeções por análise de vibrações	40
3.4.2.1 <i>Shock Pulse Measurement (SPM)</i>	41
4 PROCEDIMENTOS PARA ELABORAR PLANOS DE LUBRIFICAÇÃO.....	42
4.1 Mapeamento e identificação das características dos equipamentos.....	42
4.1.1 Definição do tamanho da amostra.....	43
5 METODOLOGIA	44
5.1 Verificação das condições de trabalho dos equipamentos	45
6 DIMENSIONAMENTO DA LUBRIFICAÇÃO.....	47
6.1 Definição de consistência da graxa	48
6.2 Quantidade de graxa por rolamento na primeira aplicação.....	49
6.3 Intervalos de relubrificação e quantidade de graxa.....	50
6.4 Graxas adotadas para lubrificação.....	51
7 ATIVIDADES DE LUBRIFICAÇÃO COM GRAXA	53
7.1 Instrumentos utilizados para aplicação de graxa.....	53
7.2 Monitoramento da lubrificação	54

8 ELABORAÇÃO ROTA DE LUBRIFICAÇÃO	56
9 RESULTADOS OBTIDOS APÓS A IMPLANTAÇÃO	58
9.1 Indicador de distribuição de manutenção nas unidades fabris	58
9.2 Indicador de Tempo médio entre falhas.....	59
9.3 Custo com manutenção do estoque de rolamentos.....	61
10 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE A - Relação de equipamentos e quantidades amostrais	68
APÊNDICE B – Médias entre os equipamentos similares	70
APÊNDICE C – Verificação do espessante adequado.....	72
APÊNDICE D – Período para relubrificação e quantidade de graxa	74
APÊNDICE E – Rota de lubrificação.....	76

1 INTRODUÇÃO

As indústrias dos setores alimentício e nutrição animal, atuam de maneira intensa para atender as legislações exigidas pelo mercado nacional e internacional, para tanto, realiza-se diversas auditorias no intuito de certificar que os processos de beneficiamento da matéria prima atendem as boas práticas de fabricação e gestão da qualidade.

A confiabilidade no processo produtivo está diretamente relacionada com a manutenção dos equipamentos, pois falhas em máquinas podem gerar acidentes de trabalho, defeitos nos produtos ou interrupção repentina da produção. Essa interrupção pode acarretar em lucro cessante sendo amplificado quando o equipamento apresenta alta complexidade para reparos ou dificuldade para adquirir peças de reposição.

As manutenções de natureza emergencial apresentam elevados custos pois envolvem muitas variáveis que devem ser mensuradas, sendo assim tende-se a efetuar diversas atividade que visam evitar manutenções corretivas não planejadas.

Nota-se que os complexos industriais projetados para fabricar rações, possuem majoritariamente equipamento para o processamento de grão, tendo em vista que grande parte desses alimentos são advindos de origem vegetal como milho, soja e trigo. Esses ingredientes são transportados, moídos e processados através de máquinas eletromecânicas que exercem movimentos rotativos suavizados por rolamentos. Durante a vida útil os rolamentos precisam de lubrificação constante para garantir a execução das funções para qual a máquina foi projetada. Destaca-se que 50% das falhas prematuras ocorridas em rolamentos estão relacionadas com a ineficiência de lubrificação, logo, em máquinas rotativas, grande parte dos problemas podem ser ocasionados por defeitos em elementos rolantes (SKF, 2012).

A lubrificação má dimensionada ou má executada pode ser convertida em grandes prejuízos, pois os lubrificantes industriais são potenciais contaminantes que ameaçam a segurança alimentar. As máquinas que podem permitir incidentalmente o contato do lubrificante com o produto deve ser lubrificada utilizando graxa ou óleo atóxico, inodoro, que o consumo controlado não apresenta risco para a saúde do consumidor final.

Os fabricantes de alimentos, devem buscar melhorias continuadas no setor de gestão de manutenção, enfatizando os procedimentos e execução da lubrificação, pois imperícias ou negligências inerentes a lubrificação podem ser traduzidos em danos incalculáveis, visto que, além do fato de potencializar a falha do equipamento pode, também, contaminar qualquer linha de produto e prejudicar a imagem da empresa junto aos clientes.

Anteriormente as máquinas eram lubrificadas por mecânicos de manutenção, que exerciam essa atividade quando não se tinha outras demandas, essa prática se mostra ineficiente, pois as lubrificações ocorriam de maneira esporádica, sem nenhum tipo de análise de condição do equipamento, tampouco da graxa a ser utilizada. Outro aspecto negativo dá-se pelo fato que, não se registrava informações quanto a data, quantidade de graxa aplicada, etc.

Ao passo que a empresa se viu na necessidade de melhorar as atividades de manutenção. Para tanto foi criado o setor de engenharia de manutenção, cuja função principal é atuar junto aos profissionais da garantia da qualidade, produção e gerentes responsáveis pela unidade fabril buscando desenvolver e implementar políticas de manutenção alinhadas com as tendências de mercado e que atendam os objetivos almejados pela alta direção da empresa. Contudo, a engenharia de manutenção busca aplicar conhecimentos de cunho técnico e de gestão de manutenção para buscar soluções capazes aumentar o faturamento da unidade fabril.

Na empresa onde foi implantada a metodologia de lubrificação padronizada, a engenharia de manutenção possui total responsabilidade e autonomia quanto ao dimensionamento e gerenciamento das atividades de lubrificação, atuando com políticas de manutenção capazes de gerar resultados de média a longo prazo.

Nesse contexto apresenta-se os procedimentos implementados e os resultados obtidos na indústria em questão, onde objetivou-se aumentar a disponibilidade das máquinas e também reduzir os índices de manutenções corretivas.

2 MANUTENÇÃO APLICADA NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO

A globalização mundial juntamente com os avanços tecnológicos, possibilitaram a abertura comercial atenuando a competitividade das indústrias de transformação. Além da busca incessante por matérias-primas de menor custo, as organizações desenvolveram fábricas capazes de produzir em larga escala, elevando o faturamento, prevendo investimentos e expansão dos negócios (BELINELLI, 2015).

Na intenção de obter maior produtividade, as empresas buscaram analisar todas as variáveis que impactam no valor final do produto, logo, implementaram processos produtivos capazes de reduzir o custo e o tempo de produção. Porém juntamente com essa abordagem detectou-se que muitos retrabalhos e interrupções do parque fabril eram oriundas da má qualidade da manutenção aplicada nas máquinas, por conseguinte, a manutenção tornou-se uma função estratégica, sendo capaz de aumentar a confiabilidade e reduzir o lucro cessante gerado por falhas técnicas. (TAVARES, 2001; PINTO; XAVIER, 2009).

A manutenção pode ser definida como um conjunto de atividades técnicas, administrativas e de supervisão, cujo objetivo principal é manter, reestabelecer ou modificar o funcionamento de um item, tornando-o capaz de efetuar as atividades para qual foi projetado. No entanto, ampliou-se o conceito de manutenção, cuja função mais condizente é possibilitar maior confiabilidade, disponibilidade e funcionalidades das máquinas de modo que atenda às necessidades de um processo produtivo com segurança aos colaboradores, preservação ambiental e custos adequados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994; PINTO; XAVIER, 2009).

A atividade de manutenção desempenha um papel de grande importância nas corporações, pois possibilita o alcance de metas organizacionais. As principais contribuições são inerentes a redução de custos, aumento de produtividade e garantia de entrega dos produtos; atendendo o prazo necessário (DUFFUAA; RAOUF; CAMPBELL, 1999).

Devido as constantes melhorias, a manutenção industrial pode ser considerada como uma ciência, visto que, desde as intervenções feitas pelos técnicos, até as investigações de análises de falhas, se busca identificar a causa raiz destas. Em suma, a manutenção requer que os manutentores possuam conhecimentos técnicos, perfil investigativo, pró-atividade, disciplina e organização. Já os profissionais que atuam em cargos de gestão e liderança da manutenção, além de possuírem as características mencionadas, se destacam quando são aptos para lidar com pessoas e possuem conhecimentos gerenciais, fazendo que a manutenção se alinhe com os planos da organização (MOBLEY; HIGGINS; SMITH, 2002).

2.1 Tipos de manutenção industrial

As manutenções devem ser caracterizadas de acordo com a ocasião e finalidade de atuação. Os mais variados tipos de manutenção devem constar nas políticas de manutenção utilizadas pelas empresas, mas, de antemão, deve-se elaborar estudos técnico-econômicos para aplicar de forma assertiva, sem colocar em risco a confiabilidade das máquinas (PINTO; XAVIER, 2009).

O Quadro 1 apresenta os tipos de manutenção mais utilizados nas indústrias e suas respectivas características.

Quadro 1 - Tipos de manutenção e suas características.

Tipos de manutenção	Características
Manutenção corretiva	Manutenção efetuada após a ocorrência de falha, cujo objetivo é reestabelecer o funcionamento da máquina
Manutenção corretiva planejada	É a manutenção que recompõe o desempenho da máquina antes que ocorra a falha funcional
Manutenção preventiva	Manutenção efetuada respeitando intervalos pré-determinados, aplicada para reduzir as falhas e diminuir a degradação das máquinas
Manutenção preditiva	É a manutenção que visa prever as falhas através de técnicas de análise de condição utilizando equipamentos de medição capazes de gerar diagnósticos do funcionamento da máquina
Manutenção detectiva	São os ensaios efetuados em sistemas de proteção, comando e controle das máquinas visando detectar falhas ocultas
Engenharia de manutenção	Pode ser caracterizada como o suporte técnico da manutenção e atua efetuando melhorias nos procedimentos e projetos que visam aumentar a confiabilidade e manunibilidade das máquinas

Fonte: Adaptado de (PINTO; XAVIER, 2009; SELEME, 2015).

2.2 Indicadores de manutenção

No mundo corporativo é sempre empregada a filosofia de mensurar para gerenciar com qualidade, essa afirmativa pode ser aplicada na gestão da manutenção buscando identificar as deficiências e se adequar as novas frentes impostas pelo mercado (DUARTE, 2012).

Ao passo que a manutenção também se tornou uma atividade técnica e gerencial, na qual, um dos pilares encontra-se na redução de custos. Neste contexto foram desenvolvidos alguns indicadores capazes de nortear e mensurar as estratégias adotadas pela engenharia de manutenção, que por sua vez, poderá atuar no problema específico elaborando atividades de

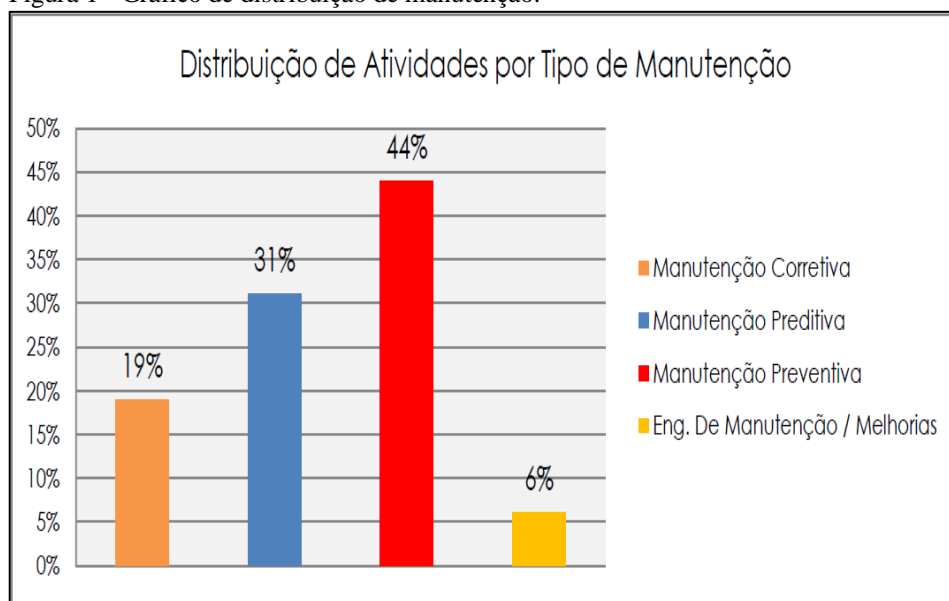
identificação de causa-raiz e projetar metodologias ou modificações nas máquinas ou processos a fim de extinguir deficiências existentes (SELEME, 2015).

2.2.1 Indicador por tipos de manutenções

Dentre as categorias de manutenção, destaca-se a manutenção corretiva não planejada. Sendo esta a mais onerosa, pois existem vários fatores que influenciam no agravamento dos custos, não se limitando apenas no prejuízo causado pela interrupção da produção. Esse tipo de manutenção é de fato o mais indesejado, porém com a aplicação de manutenções preventivas, preditivas e engenharia de manutenção, tende-se a diminuir a ocorrência de manutenções emergenciais e, por conseguinte, obtêm menos custos de manutenção (PINTO; XAVIER, 2009).

O gráfico ilustrado pela Figura 1 apresenta a relação das manutenções de acordo com a distribuição de ordens de serviço.

Figura 1 - Gráfico de distribuição de manutenção.



Fonte: (TELES, 2018).

2.2.2 Indicadores de *MTBF*

A sigla *MTBF* (*Mean Time Between Failures*) traduzida para o português como: tempo médio entre falhas, compõe um dos indicadores mais importantes para manutenção, pois nesse indicador é contabilizado apenas as paradas para intervenções de manutenção corretiva não

planejadas. A Equação 1 possibilita a obtenção do *MTBF* (PINTO; XAVIER, 2009; TELES, 2018).

$$MTBF = \frac{\sum T}{N} \quad (1)$$

Onde:

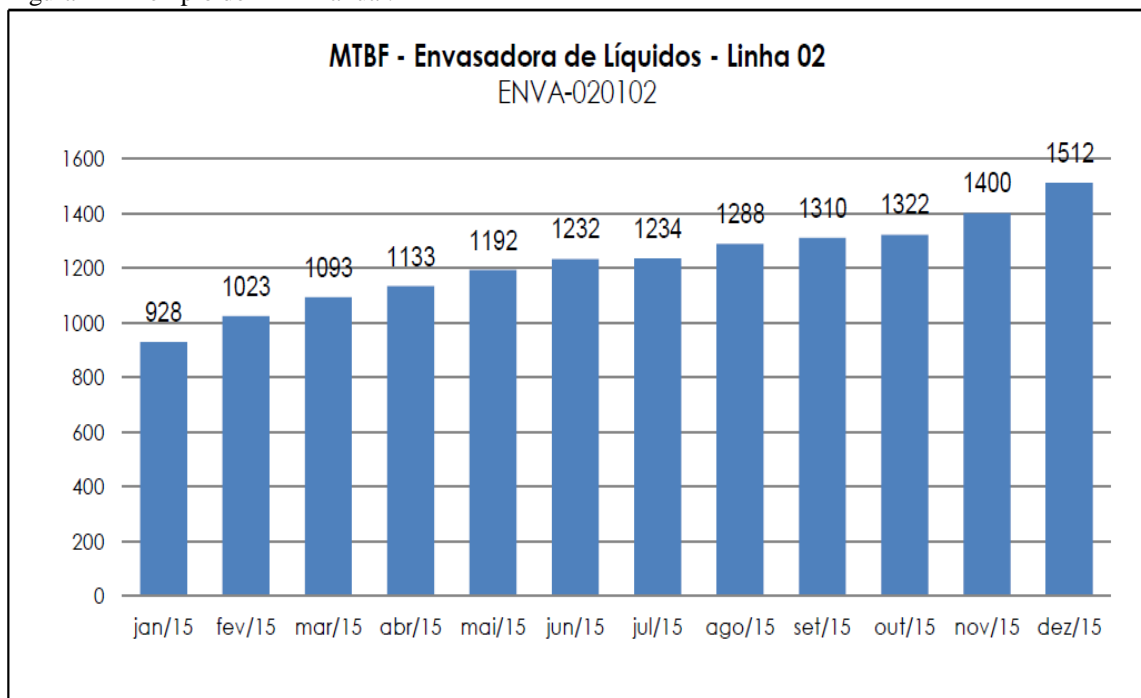
MTBF = tempo médio entre falhas [h];

T = tempo que a máquina operou em bom funcionamento [h];

N = quantidade de ocorrências de paradas [adimensional].

Os indicadores de *MTBF* podem ser gerados de acordo com as exigências da empresa, sendo possível contabilizá-lo analisando equipamentos, de forma singular, ou a linha de produção como um todo. No entanto, sugere-se que as organizações efetuem balanços anuais de *MTBF* objetivando avaliar os pontos que devem ser melhorados, a Figura 2 apresenta o *MTBF* anual de uma hipotética linha de produção (TELES, 2018).

Figura 2 - Exemplo de *MTBF* anual.



Fonte: (TELES, 2018).

3 LUBRIFICAÇÃO INDUSTRIAL

Os elementos de máquinas podem ser caracterizados como sistemas tribológicos, visto que, recebem esforços externos para efetuarem movimentos e, como consequência tem-se geração de atrito sólido entre seus componentes, logo a diminuição do atrito é efetuada através da aplicação de meios lubrificantes, sendo-os líquidos, sólidos, semi-sólidos ou gasosos. Em determinadas aplicações o atrito pode causar superaquecimento, perda de rendimento, travamento e fadiga dos componentes resultando em falha no equipamento (BELINELI, 2015; FERRAZ, 2018).

A lubrificação possui a função de reduzir o atrito entre os sólidos que deslizam um sobre os outros visando evitar o desgaste, facilitando os movimentos; mas, nem sempre se alcança resultados com a redução do atrito e surge a necessidade de possuir um maior para evitar o desgaste (BELINELI, 2015).

A atividade de lubrificar máquinas no meio industrial consiste em introduzir uma substância, em quantidade e periodicidade apropriada, entre superfícies sólidas que exerçam contato físico entre si e executam movimentos relativos. Na maioria das vezes aplicam-se graxas ou óleos, de modo que, esses produtos apresentem baixa resistência ao cisalhamento, onde uma fina camada se adere às paredes dos corpos sólidos, enquanto uma película de lubrificante é cisalhada constantemente, interpondo-se entre as superfícies móveis durante o movimento (ESSEL ENGENHARIA, 2014).

Dependendo das características apresentadas pelo sistema lubrificado, obtém-se diferentes regimes de lubrificação e uma das formas para descrever esses regimes é utilizando a Equação 2 em consonância com o diagrama de Stribeck, conforme Figura 3, onde é possível relacionar o coeficiente de atrito à velocidade, viscosidade e pressão. (JONES JUNIOR; JANSEN, 2001).

$$h = \frac{Z \cdot v}{P} \quad (2)$$

Onde:

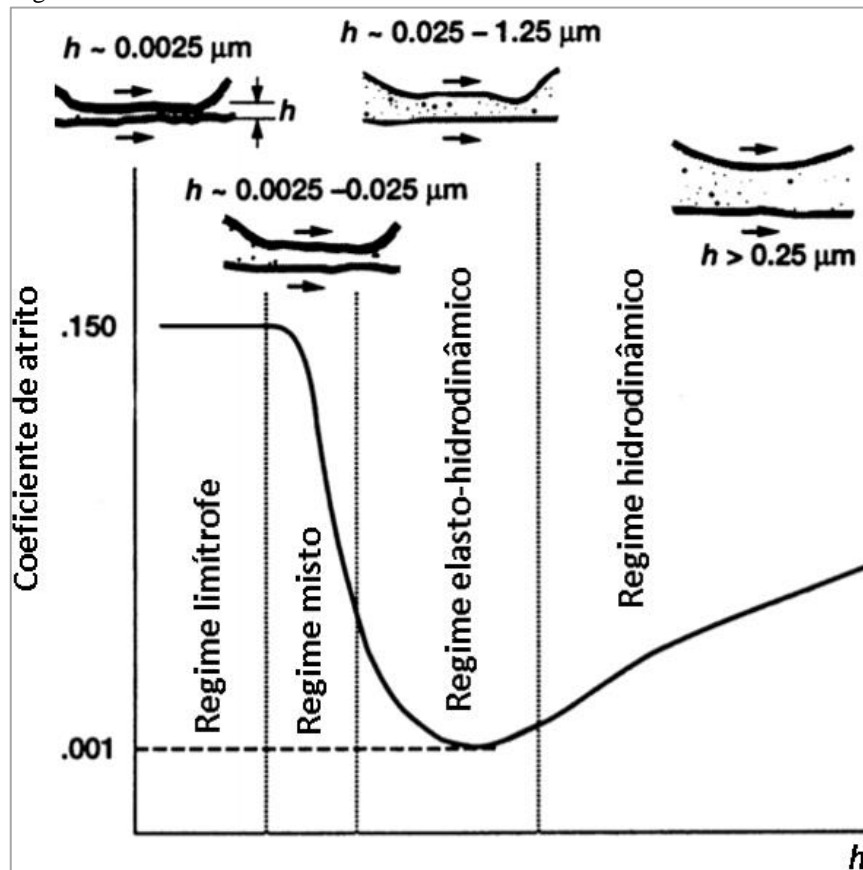
h = espessura do filme [m];

Z = viscosidade dinâmica [P_a.s];

v = velocidade [m/s];

P = pressão de contato [P_a].

Figura 3 - Curva de Stribeck.



Fonte: adaptado de (JONES JUNIOR; JANSEN, 2001).

As operações de lubrificação, juntamente com as inspeções, contemplam as atividades de manutenção preventiva, sendo esta gerada através de estudos sobre os equipamentos, analisando caso por caso e, posteriormente, criando os planos e rotas para lubrificação (MOBLEY; HIGGINS; SMITH, 2002).

A lubrificação industrial surge como um método primitivo de manutenção preventiva que, ao ser organizado e gerido de forma assertiva, perpetua a disponibilidade das máquinas, traduzindo-se como uma ferramenta, cujas principais características são: a eficácia na operação, redução de custos com manutenção e o significativo aumento na produtividade fabril (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Todo programa de manutenção preventiva precisa conter um plano de lubrificação capaz de garantir que as máquinas atuem conforme foram projetadas. Na atualidade os equipamentos são desenvolvidos para atividades de maior precisão e alta produção, logo, ao negligenciar a lubrificação se pode causar impactos catastróficos. Salienta-se que um plano de lubrificação deve envolver a média gestão e o pessoal de planta, sendo necessário integrá-los de modo que

saibam da importância da lubrificação para a performance da empresa (MOBLEY; HIGGINS; SMITH, 2002)

As principais funções da lubrificação nas máquinas industriais são:

- a) proporcionar funcionamento do sistema mecânico;
- b) transformar o atrito sólido em atrito fluido, evitando assim a perda de energia;
- c) controlar o atrito;
- d) controlar o desgaste;
- e) controlar a temperatura (líquido refrigerante);
- f) controlar a corrosão;
- g) proporcionar isolamento (elétrico);
- h) transmitir potência em sistemas hidráulicos;
- i) redução de consumo energético;
- j) amortecer choques (amortecedores, engrenagens);
- k) agir na remoção de contaminantes (limpeza);
- l) aumentar o tempo de vida útil do equipamento;
- m) formar vedação (graxa);

(BELNELI, 2015 apud MOBLEY, 2004; LANSDOWN, 2004).

3.1 Lubrificantes

As substâncias utilizadas como lubrificantes possuem a função de interpor entre as superfícies sujeitas a atritos, onde é formada finas camadas metálicas resultando na diminuição ou extinção do contato entre as partes chegando em menos desgaste e menor geração de calor (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATUARAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2007).

Os lubrificantes são classificados de acordo com seu estado físico, em temperatura ambiente, sendo-os: gasosos como ar ou nitrogênio, líquidos que correspondem aos óleos em geral, semissólidos o qual se enquadra na família das graxas, sólidos como talco, grafite ou mica (PAULI; ULIANA, 1997; ESSEL ENGENHARIA, 2014).

Os lubrificantes, além das características físicas, também, são identificados a partir de sua composição base, as quais podem ser de origem animal, vegetal, mineral ou sintética, conforme Quadro 2. Vale ressaltar que, na maioria das operações, lubrifica-se os elementos de máquinas com óleos ou graxas de origem mineral ou sintética (ESSEL ENGENHARIA, 2014).

Quadro 2 - Composição base dos lubrificantes.

Origem	Lubrificantes
Animal	Sebo bovino, sebo de baleia, banha de porco
Vegetal	Mamona, palma, oliva
Mineral	Óleos, graxas a base de petróleo ou, sólidos originados da grafita ou magnésio
Sintéticos	Óleos e graxas totalmente desenvolvidos em laboratório

Fonte: adaptado de (PAULI; ULIANA, 1997).

Os lubrificantes compostos por bases minerais são obtidos através da destilação primária do petróleo. Onde o petróleo é aquecido até a ebulição e os vapores gerados nesse aquecimento, ao serem resfriados, retornam ao estado líquido em diferentes níveis e faixas de temperatura. Para cada nível, existem recipientes destinados a coletar os subprodutos do petróleo, entre os esses subprodutos, encontra-se o óleo que compõe os lubrificantes minerais, líquidos ou semissólidos (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006; PETROBRAS, 2019).

Ao passo que os lubrificantes minerais possuem óleo base originados do petróleo. Já os lubrificantes sintéticos, na maioria das formulações, possuem a composição básica originada do grupo dos oligômeros de olefina ou polialfaolefina, oriundos da combinação de duas ou mais moléculas de deceno em oligômeros de cadeia curta tratadas com hidrogênio a alta pressão. Essas estruturas de olefina são abundantes em hidrocarbonetos e isentas de enxofre, fosforo e outro metal, por não possuírem parafinas de cadeias longas essa substancia possui baixo ponto de fluidez, alto índice de viscosidade, boa estabilidade térmica e também apresenta algumas incompatibilidades de dissolução em determinados tipos de aditivos, que pode ser resolvida adicionando éster para aumentar a capacidade de solvência (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.1.1 Óleos lubrificantes

A elaboração de óleo lubrificante para utilização em máquinas passa por um minucioso e complexo trabalho de análise para verificar a compatibilidade dos aditivos que serão adicionados aos óleos básicos. Visando atingir as características desejadas, faz-se ensaios laboratoriais que permitem avaliar qual o comportamento do lubrificante ante as situações reais de aplicação (PAULI; ULIANA, 1997).

O óleo lubrificante tem sua qualidade atestada após a aprovação de seu desempenho em serviço. Toda reação durante a utilização do lubrificante está diretamente relacionada com sua composição química advinda do petróleo, dos aditivos ou somente da composição química, caso o óleo seja de origem sintética. Ressalta-se que as combinações de óleos e aditivos permitem a obtenção de estabilidade, qualidade, uniformidade e informações técnicas que indicam quais as aplicações adequadas para cada tipo de óleo (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.1.1.2 Viscosidade cinemática

A viscosidade cinemática é uma das principais características físicas dos óleos, sendo resultado dos atritos entre as moléculas de óleo ou definida pela resistência ao escoamento que o fluido apresenta, esta é o quociente entre a viscosidade dinâmica e a densidade do óleo lubrificante (PAULI; ULIANA, 1997).

A fluidez do óleo é fundamental para especificações de lubrificação hidrodinâmica, logo, a viscosidade determina qual a resistência do fluido ao cisalhamento, sendo sempre variável de acordo com a temperatura (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Os óleos podem ser monoviscosos ou multiviscosos, sendo que, os monoviscosos são mais utilizados em equipamentos industriais e assumem apenas uma faixa de viscosidade; já os multiviscosos possuem maior aplicabilidade em automóveis apresentando viscosidades pré-determinadas dependendo da temperatura. Tecnicamente utiliza-se centistoke (cSt) como unidade de medida para definir a viscosidade dos óleos, por conseguinte 1 cSt equivale a 1 mm²/s (STABELINI, 2016; MONTREAL ÓLEO PARA COMPRESSORES DE REFRIGERAÇÃO, 2018).

3.1.1.2.1 Índice de viscosidade

A atribuição do índice de viscosidade do óleo deve ser efetuada através de ensaios com viscosímetros e procedimentos padronizados por diferentes normas, nesse tipo de ensaio é avaliado a viscosidade do mesmo óleo e em diferentes temperaturas (BIOLUB, 2019).

A indicação de viscosidade, pode ser efetuada de diversas maneiras, pois cada país ou indústria pode adotar padrões desenvolvidos em diferentes partes do mundo.

No meio industrial, onde, a maioria dos lubrificantes são classificados pela norma *ISO* 3448:1992, tendo, dezoito graus de viscosidade medidos a 40°C, que é a temperatura usual da

aplicação dos óleos e lubrificantes líquidos industriais. A identificação dessa classe de óleo é apresentada no Quadro 3, sendo:

- a) ISO, para se referir a norma;
- b) VG, *viscosity grade* ou grau de viscosidade;
- c) viscosidade cinemática média em cSt;

(MONTREAL ÓLEO PARA COMPRESSORES DE REFRIGERAÇÃO, 2018; BIOLUB, 2019).

Quadro 3 - Viscosidade padrão ISO.

Classe de Viscosidade ISO	Viscosidade (média) @40°C (mm ² /s)	Limites de Viscosidade Cinemática @40°C (mm ² /s)	
		mim.	max.
ISO VG 2	2,20	1,98	2,42
ISO VG 3	3,20	2,88	3,52
ISO VG 5	4,60	4,14	5,06
ISO VG 7	6,80	6,12	7,78
ISO VG 10	10,00	9,00	11,00
ISO VG 15	15,00	13,50	16,50
ISO VG 22	22,00	19,80	24,20
ISO VG 32	32,00	28,80	35,20
ISO VG 46	46,00	41,40	50,60
ISO VG 68	68,00	61,20	74,80
ISO VG 100	100,00	90,00	110,00
ISO VG 150	150,00	135,00	165,00

Fonte: adaptado de (MONTREAL ÓLEO PARA COMPRESSORES DE REFRIGERAÇÃO, 2018).

3.1.1.3 Ponto de fluidez

Esta é a menor temperatura que o óleo é capaz de fluir, de acordo com o ensaio D-97-05 padronizado pela *ASTM (American Society for Testing and Materials)*, através de repetidos e sequenciais resfriamentos de amostras em óleo depositadas num frasco de vidro onde a temperatura sofre reduções de 3 em 3°C, tornando o ponto de fluidez dos óleos subdivididos em escalas de 3 em 3°C (LEONARDO, 2014).

3.1.1.4 Ponto de Fulgor

O ponto de fulgor define o grau de agitação das moléculas de óleo capazes de desprender os primeiros vapores que inflamam momentaneamente ao contato de uma chama (RIOS, 2009).

Pode-se definir o ponto de fulgor como sendo a menor temperatura capaz de causar a vaporização do óleo e, em presença do ar, pode inflamar por alguns segundos ao ser aproximado de uma fonte de chama, gerando lampejos ou *flashes* (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Faz-se necessário diferenciar ponto de fulgor e ponto de combustão, visto que, o ponto de combustão é definido pela temperatura que os vapores de óleo se queimem continuamente durante o tempo mínimo de 5 segundos, destaca-se que os óleos aplicados para lubrificação de máquinas devem possuir o ponto de fulgor superior a 150°C. Para garantir que a operação com um dado óleo lubrificante seja segura, é primordial ter conhecimento do ponto de fulgor (LEONARDO, 2014).

3.1.2 Graxas

Esse lubrificante pode ser concebido a partir de misturas entre óleo a base de petróleo ou sintético, acrescidos de aditivos e agentes espessantes. No produto acabado tem-se as seguintes variações percentuais mássicas: aditivos 0,50% a 10%, óleo lubrificante 70% a 95% e substância espessante de 3% a 15% (MOBLEY; HIGGINS; SMITH, 2002; PERES, 2015; ROLEMBERG, 2019).

Os aditivos são utilizados para conferir melhores propriedades ao óleo - elemento principal de lubrificação - visando controlar as variações que podem ocorrer ao submeter a graxa em ambientes agressivos ou, altas rotações; tais aditivos, ainda podem ser inibidores de corrosão, oxidação, desgaste e melhora a resistência à altas pressões (NATIONAL LUBRICATING GREASE INSTITUTE, 2015).

Por conseguinte, a substância espessante é utilizada para reter o óleo lubrificante com seus aditivos e reduzir a fluidez mantendo a graxa enclausurada no interior dos rolamentos garantindo o mínimo de atrito (PERES, 2015; ROLEMBERG, 2019).

Os tipos de graxas podem ser identificados de acordo com sua formulação, logo, tem-se os principais componentes das graxas e suas possíveis aplicações:

a) graxa de sabões metálicos: constituída por óleo mineral e sabões metálicos correspondentes a óleo graxo a base de cálcio, sódio, alumínio, bário ou lítio, essa graxa é amplamente utilizada em máquinas industriais e automóveis;

- b) graxa sintética: advinda de óleos e sabões sintéticos e apresentando melhores características que as graxas minerais; as graxas sintéticas são utilizadas onde é inviável aplicar graxas minerais, limitando-se apenas pelo alto custo de aquisição;
- c) graxas a base de argila: composta por óleo mineral puro e argilas especiais com micro granulometria, essa graxa deve ser utilizada em ambientes de altas temperaturas.
- d) graxas betuminosas: produzida com formulações asfálticas e óleo mineral puro, essa graxa apresenta alta adesividade e alta viscosidade sendo necessário diluí-la ou aquecê-la antes de aplicá-la (PAULI; ULIANA, 1997).

Ao passo que as graxas de sabões metálicos são mais aplicadas nas indústrias, torna-se relevante explicitar suas subdivisões elencando as principais características de alguns sabões popularmente oferecidos no mercado, cuja utilização é frequentemente negligenciada por profissionais de manutenção. O Quadro 4 apresenta algumas características de aplicação de graxas a base de sabões metálicos e também espessantes não metálicos.

Quadro 4 - Características e aplicações de graxas.

Carga	Espessante/óleo-base	NLGI	Viscosidade do óleo base [cSt]	Eixo vertical	Rápida rotação do anel externo	Movimentos oscilantes	Vibrações severas	Carga de choque ou inicialização frequente	Inibidores de ferrugem	
L-M	Sabão de lítio / óleo mineral	2	110	✓	✗	✗	▲	✗	▲	Aplicações gerais
L-M	Sabão de lítio / óleo mineral	3	125	▲	✓	✗	▲	✗	✓	
H	Sabão de lítio / óleo mineral	2	200	✓	✗	✓	▲	▲	▲	
L-H	Sabão complexo de lítio / óleo mineral	2	185	✓	✓	✓	✓	▲	▲	
M-H	Sabão de lítio-cálcio / óleo de éster sintético	2	110	✓	✗	▲	▲	▲	✓	Requisitos especiais
L-M	Complexo de alumínio / óleo branco medicina	2	150	✓	✗	✗	✗	✗	▲	
L-VH	Complexo de sulfonado de cálcio/PAO	1-2	320	✓	✓	▲	▲	▲	▲	
H-VH	PTFE /óleo de poliéter fluorinado sintético	2	460	✓	✓	▲	✓	✓	✓	
M-H	Sabão complexo de lítio / óleo PAO sintético	2	68	✗	✗	▲	▲	▲	▲	Baixas temperaturas
L	Sabão de lítio / óleo PAO sintético	1	18	✓	✗	✗	✗	✗	✓	
H	Sabão de lítio / óleo mineral	1-2	200	✗	✗	▲	✗	▲	▲	Cargas elevadas
L-H	Sulfonato de cálcio complexo/ óleo PAO sintético/ óleo mineral	2	80	✓	✓	▲	▲	▲	▲	
H-VH	Sabão de lítio / óleo mineral	2	500	✓	✗	▲	▲	▲	▲	Altas temperaturas
H-VH	Sabão de lítio-cálcio / óleo mineral	2	1020	✓	✗	▲	▲	▲	▲	
L-VH	Sulfonato de cálcio complexo/ óleo mineral	2-3	425	✓	▲	▲	▲	▲	▲	
L-M	Diureia/ óleo mineral	2	96	▲	✗	✗	✓	✓	▲	
H-VH	PTFE /óleo de poliéter fluorinado sintético	2	400	✓	▲	▲	✓	✓	✓	

L = Leve M = Média H = Alta VH = Muito alta ✓ = Adequado ▲ = Recomendado ✗ = Não se aplica

Fonte: adaptado de (SKF, 2018).

Todas as graxas são classificadas de acordo com o nível de consistência seguindo uma escala elaborada pela *National Lubricating Grease Institute (NLGI)*, conforme Quadro 5.

Quadro 5 - Número de consistência das graxas.

Número NLGI	Penetração ASTM (10^{-1} mm)	Aparência em temperatura ambiente
000	445-475	Muito fluida
00	400-430	Fluida
0	355-385	Semifluida
1	310-340	Muito macia
2	265-295	Macia
3	220-250	Dureza média
4	175-205	Dura
5	130-160	Dureza alta
6	85-115	Extremamente dura

Fonte: Adaptado de (SKF, 2015).

Quanto maior for a maciez, menor o número correspondente. Corriqueiramente, as graxas para rolamentos mais aplicadas em equipamentos industriais são NLGI 1, 2 ou 3. Para classifica-las, utiliza-se um cone penetrador em amostras de graxa, posteriormente avalia-se a profundidade atingida. Padronizou-se que o índice de profundidade deve ser mensurado em décimos de milímetros (SKF, 2015).

Outras informações relevantes são: temperatura que a graxa se torna líquida (ponto de gota) sendo capaz de fluir através de um orifício determinado pela norma DIN ISO 2176, capacidade de aderência (adesividade), viscosidade do óleo base, desempenho em extremas pressões, proteção contra corrosão, resistência a água, capacidade de lubrificação, vida útil no rolamento e faixas de temperatura de trabalho (ESSEL ENGENHARIA, 2014; SKF, 2015).

3.1.2.1 Testes de eficiência em extremas pressões

A capacidade de lubrificação de uma graxa pode ser mensurada através de ensaios que visam analisar a reação da graxa diante de situações extremas, os aditivos incorporados às graxas possuem a função de formar uma película entre as superfícies que se atritam. O objetivo dos testes é verificar qual a menor carga capaz de corromper essa película protetora. Os ensaios mais utilizados são: ensaio de quatro esferas ou *four ball* e o ensaio *timken*.

O ensaio *four ball* visa conhecer o comportamento da graxa em extremas pressões sendo executado da seguinte maneira: utilizando quatro esferas de aço, onde três esferas são justapostas e fixadas de modo que forme um triângulo; a quarta esfera é inserida na parte central, superior do triângulo de modo que tenha contato entre todas as esferas. Utilizando uma cuba de testes, recobre-se as esferas com a graxa e rotaciona somente a esfera superior a uma velocidade de 1760 rpm, paulatinamente aumenta-se a carga até ocorrer a soldagem quando então se identifica a carga máxima suportada pelo lubrificante (PERES, 2018).

O teste *timken* tem como objetivo mensurar a carga que o lubrificante pode suportar. Esse ensaio consiste em pressionar um bloco de aço contra um cilindro girante, é composto por material metálico de alta dureza, entre o cilindro e o bloco encontra-se a graxa lubrificante, as cargas são aumentadas e a avaliação da graxa é obtida através da verificação dos danos sofridos pelo bloco de teste (PERES, 2018).

3.1.3 Lubrificantes atóxicos

As operações destinadas para manutenção e lubrificação de equipamentos envolvidos nas indústrias alimentícias e embalagens para alimentos requerem cuidados específicos, principalmente se atentando para o uso de lubrificantes fisiologicamente inertes, inodoros e sem nenhum tipo de sabor. Tais especificidades são necessárias para garantir a saúde dos consumidores finais, sendo-os humanos ou animais (CADIUM ÓLEOS LUBRIFICANTES, 2019).

Também denominados lubrificantes atóxicos, essa classe de produto não apresenta grandes diferenças dos lubrificantes convencionais, podendo ser produzidos na mesma instalação industrial. Logo, a principal característica dos lubrificantes considerados atóxicos pode ser definida pelo rigoroso processo de fabricação, o qual visa extinguir qualquer tipo de contaminantes (PERES, 2017,a).

Tocante aos lubrificantes atóxicos, destaca-se as organizações estadunidenses, *Food and Drug Administration (FDA)*; sendo responsável por criar normas e procedimentos, aplicados mundialmente na segurança sanitária nos setores alimentícios e farmacêuticos. Também é destacado o *Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA)* que originalmente criou algumas designações de lubrificantes para produção de alimentos. No Brasil a regulamentação do uso de lubrificantes de grau alimentício fica a cargo do Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA) (PERES, 2017a; CADIUM ÓLEOS LUBRIFICANTES, 2019).

Seguindo os preceitos impostos pela *USDA* e aplicados mundialmente, os lubrificantes atóxicos podem ser classificados de acordo com o risco de contato com o alimento, sendo definidas três categorias: H1, H2 e H3, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Classificação dos lubrificantes atóxicos.

Designação	Aplicações particulares
USDA H1	Lubrificante de grau alimentício com composição controlada, usados em ambientes de processamentos de alimentos onde exista a possibilidade incidental de contato alimentar, aplicar somente a quantidade necessária para a manutenção do equipamento
USDA H2	Lubrificante utilizado em partes do equipamentos que não há nenhuma possibilidade que o lubrificante ou face entre em contato com o alimento, nesse caso a composição desse lubrificante deve ser isento de metais pesados
USDA H3	São conhecidos como óleo solúvel ou comestível, usados para efetuar limpeza e prevenção de oxidação em equipamentos de processar alimentos

Fonte: adaptado de (PERES, 2017a; BELINELLI, 2015 apud MARGARONI, 1999; ELDRIDGE, 2007; GIRARD, 2002; TURNER, 2007; LAWATE, 2007; KOEL, 2012).

De acordo com a instrução normativa 4/2007, imposta pelo Ministério da Agricultura, “os lubrificantes que entram em contato direto ou indireto com os produtos destinados à alimentação animal devem ser grau alimentício.” Portanto a legislação brasileira prevê os riscos inerentes ao processo cabendo aos fabricantes responsabilizarem-se pela utilização correta (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2007).

3.2 Gestão da lubrificação industrial

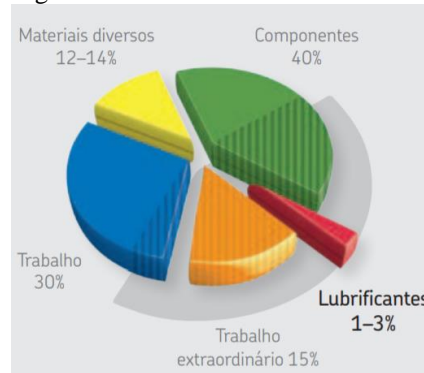
Atividades econômicas de prestação de serviços ou fabricação de produtos, podem utilizar máquinas ou equipamentos que necessitam de lubrificantes para se manter em pleno funcionamento conforme os padrões pré-estabelecidos e garantir o máximo de produtividade (BELINELLI, 2015).

No Brasil, apenas 20% das empresas de médio ou grande porte possuem metodologias efetivas para lubrificação. Já em empresas de menor porte a operação de lubrificação é caracterizada como atividade de nível inferior, sendo-a negligenciada pela equipe responsável pela manutenção e operação (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Do ponto de vista financeiro, as companhias empresariais atuam em várias frentes para alcançar o equilíbrio entre produtividade, qualidade, custos diretos e indiretos inerentes às operações produtivas. Destaca-se que nos últimos anos o setor de manutenção tem sido englobado nas estratégias adotadas pelas organizações, logo, a lubrificação compõe uma das atividades de manutenção preventiva, tornando necessário o emprego de técnicas de gestão para obter melhores resultados (BELINELLI, 2015).

Em indústrias, destaca-se que, no máximo 3% dos recursos destinados para despesas com manutenção, são aplicadas a aquisição de lubrificantes, conforme indica a Figura 4.

Figura 4 - Percentual de custos de manutenção.

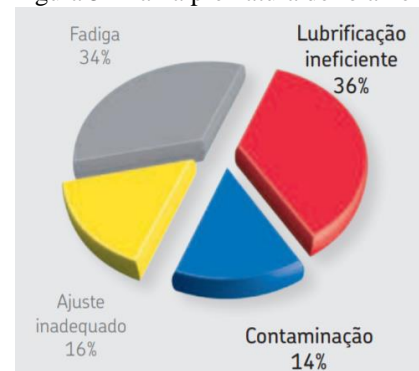


Fonte: (SKF, 2012).

Estima-se que, metade das falhas prematuras em rolamentos estão direta ou indiretamente relacionadas com ineficiência na lubrificação, cujos resultados podem ser convertidos em trabalhos extraordinários por parte dos manutentores e, conseqüentemente aumento no custo de manutenção com a iminência da interrupção da produção (SKF, 2012).

A Figura 5 aponta as principais causas de falhas prematuras em rolamentos, nota-se que tais ocorrências podem ser minimizadas com planos de ação que contemple o treinamento de planejamento de lubrificação.

Figura 5 - Falha prematura de rolamentos.



Fonte: (SKF, 2012).

A lubrificação deve ser efetuada visando atender seis fatores essenciais para a economicidade da manutenção, neste interim apresenta-se acerca dos lubrificantes, as seguintes proposições: tipo certo, qualidade certa, quantidade certa, condição certa, local certo e ocasião certa. A lubrificação organizada deve minimamente atender as seguintes premissas:

- a) aplicação do mínimo de lubrificante capaz de atender à exigência da máquina;
- b) manuseio e armazenagem adequada dos lubrificantes;
- c) controle dos serviços de lubrificação;
- d) gestão do consumo de lubrificantes afim de garantir o estoque mínimo;
- e) eficaz identificação dos lubrificantes (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

O resultado de um eficiente programa de lubrificação pode ser caracterizado pelo aumento de produtividade, confiabilidade, disponibilidade e segurança das máquinas e equipamentos. Além dos citados benefícios, a lubrificação, também, traz a redução de energia, ruído, custos de manutenção, corrosão e consumo de lubrificantes (SKF, 2012).

3.3 Lubrificação de mancais de rolamentos

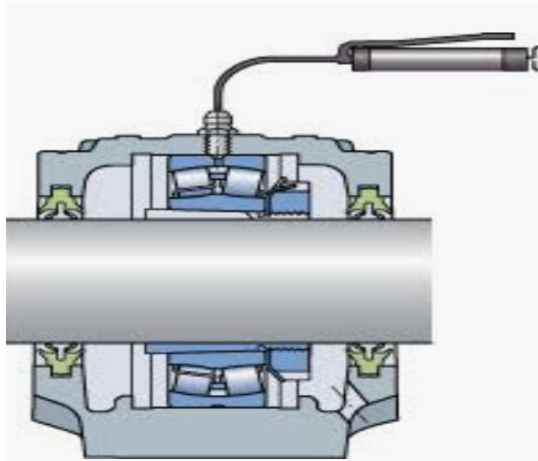
A lubrificação de mancais pode ser efetuada utilizando óleo ou graxa, de modo que, usualmente, opta-se pelo emprego de óleo para lubrificar rolamentos autocompensadores de rolos cilíndricos. Para as demais classes de rolamentos, aplica-se graxa, devido a praticidade de aplicação e manuseio (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Mancais lubrificados com graxa e instalados em locais que apresentam facilidade de acesso podem ser desmontados, para a substituição da graxa saturada ou simplesmente completar o volume de lubrificante para garantir a redução do atrito. Tais intervenções podem ser realizadas anualmente ou de acordo com as necessidades apresentadas. Na prática, os mancais possuem pinos graxeiros e orifícios que conduzem a graxa para o interior do rolamento. Ressalta-se que o excesso de graxa pode ser altamente prejudicial para o rolamento, e caso não seja possível obter o controle da quantidade necessária para lubrificação, indica-se o emprego de válvulas capazes de expulsar o excesso de graxa mantendo apenas a quantidade mínima necessária (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Os mancais utilizados em máquinas industriais e lubrificados com graxa podem utilizar as seguintes metodologias:

- a) lubrificação manual com pistola, Figura 6: com este método de lubrificação a graxa é inserida através do pino graxeiro utilizando um bico que direciona para o interior do mancal o lubrificante pressurizado por uma bomba (PAULI; ULIANA, 1997);

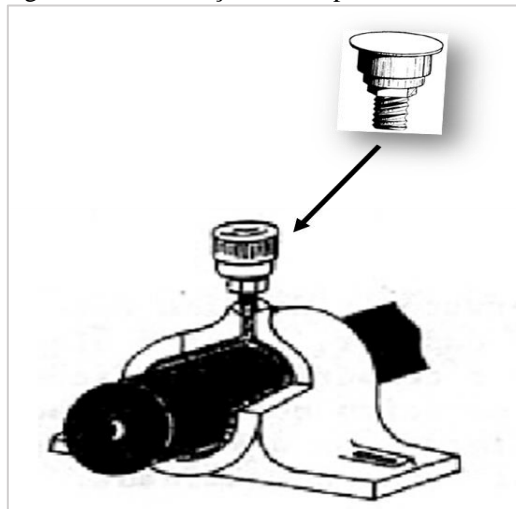
Figura 6 - Lubrificação manual com pistola.



Fonte: (SKF, 2015).

b) copo stauffer, Figura 7: utilizando copos preenchidos com graxa de modo que ao girar a tampa a graxa é forçada a passar pelo orifício constante no fundo do referido copo e direcionada para o mancal (PAULI; ULIANA, 1997);

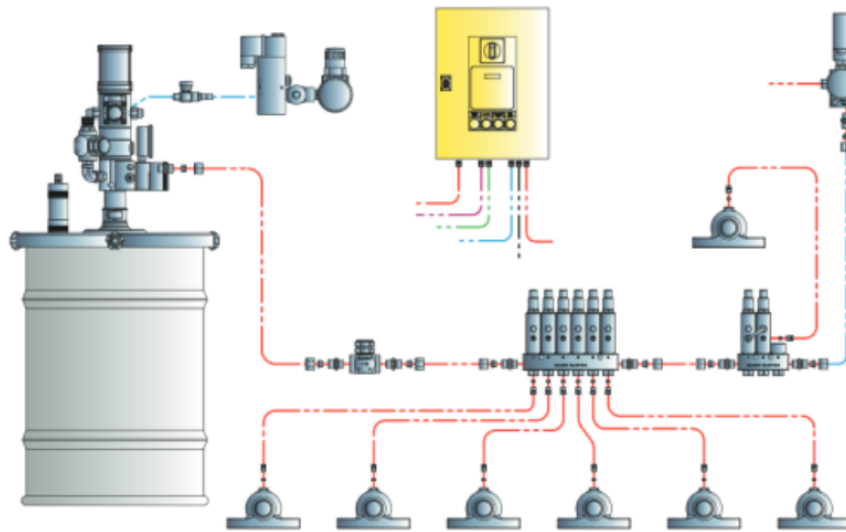
Figura 7 - Lubrificação com copo stauffer.



Fonte: Adaptado de (PAULI; ULIANA, 1997).

c) sistema de lubrificação centralizado, Figura 8: operada manualmente ou com um certo grau de automação, este meio de lubrificação utiliza uma única bomba pressurizadora de graxa com ramificações fixas e conectadas nos pinos graxeiros dos mancais (PAULI; ULIANA, 1997).

Figura 8 - Sistema de lubrificação centralizado.



Fonte: (INCGROUP, 2015).

3.3.1 Lubrificação de rolamentos com graxa

Dentre os vários tipos de graxas e suas particularidades, deve-se efetuar estudos de condições de trabalho para cada rolamento, buscando utilizar o espessante que mais se adequa às condições dos elementos rolantes. Em geral, os fabricantes de máquinas e equipamentos indicam quais as características das graxas a serem utilizadas, porém, objetivando atingir melhores resultados inerentes ao funcionamento do equipamento e redução de manutenção, os profissionais da engenharia de manutenção optam por utilizar graxas cujas propriedades são diferentes das sugeridas pelos projetistas.

A escolha da graxa pode ser determinada pela temperatura, rotação e carga que o rolamento irá operar sob condições normais. Enfatiza-se o emprego da graxa em rolamentos devido a fácil retenção no interior destes, onde, além de lubrificar também auxilia impedindo que contaminantes interfiram nas pistas de rolagem (SKF, 1988; CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.3.2 Metodologia para indicar a consistência da graxa

Para indicar o uso de determinada graxa, inicialmente deve-se verificar as condições de operação da máquina, buscando elencar quais são as variáveis que podem afetar a lubrificação. Usualmente lubrificam-se os rolamentos industriais utilizando graxas NGLI de consistências 1, 2 ou 3, sendo-as preferivelmente aplicadas nas seguintes situações:

- a) graxa de consistência 1: aplicadas em locais que apresentam baixas temperaturas, rolamentos de alta rotação ou situações que necessite de maior fluidez da graxa para adentrar nos rolamentos;
- b) graxa de consistência 2: destaca-se por ser a mais aplicada nas indústrias onde o rolamento opere com rotações moderadas, temperatura ambiente e a temperatura de superfície não exceda 70°C;
- c) graxa de consistência 3: indicada para ambientes de temperaturas mais elevadas, baixas rotações e também para rolamentos montados na vertical munidos de placa defletora capazes de impedir que a graxa saia do interior do rolamento (TECNOLUB, 2016).

Outro aspecto que deve ser avaliado ao indicar a graxa mais adequada para o rolamento é aplicar a Equação 3, e posteriormente verificar se a relação nd_m apresentada pelo sistema é menor que o nd_m descrito na ficha técnica da graxa (SKF, 2016; INTERLU, 2018).

$$nd_m = n \cdot \left(\frac{D+d}{2} \right) \quad (3)$$

Onde:

nd_m = produto da rotação pelo diâmetro médio [mm/min];

d = diâmetro interno do rolamento [mm];

D = diâmetro externo do rolamento [mm];

n = rotação do eixo[rpm].

3.3.3 Quantidade de graxa para lubrificação de rolamentos

Uma das formas para estimar a quantidade necessária de graxa a ser utilizada na lubrificação de um rolamento, Equação 4, consiste em mensurar o volume livre no interior do rolamento que, por sua vez, poderá ser preenchido com o citado lubrificante em proporções corretas (KLÜBER LUBRIFICATION, 2009).

$$V = \frac{\pi \cdot B \cdot (D^2 - d^2)}{4} 10^{-9} - \frac{G}{7800} \quad (4)$$

Onde:

V = volume de graxa para preencher o espaço livre do rolamento [m³];

B = largura do rolamento [mm];

D = diâmetro externo do rolamento [mm];

d = diâmetro interno do rolamento [mm];

G = massa total do rolamento [kg].

A preponderância dos planos de lubrificação encontra-se na quantidade de lubrificantes que são aplicados nos rolamentos, porque tanto a falta quanto o excesso de graxa podem ser prejudiciais nas mesmas proporções. Uma das maneiras de identificar o quanto o rolamento deve ser preenchido para que ocorra a lubrificação mais adequada é relacionando a variável, nd_m , conforme Tabela 1 (TELES, 2017; TECNOLUB, 2016).

Tabela 1-Quantidade adequada de graxa	
nd_m	Total preenchido com graxa
$nd_m \leq 50000$	90% a 100%
$50000 < nd_m \leq 80000$	30% a 50%
$80000 < nd_m$	30%

Fonte: Adaptado de (TECNOLUB, 2016).

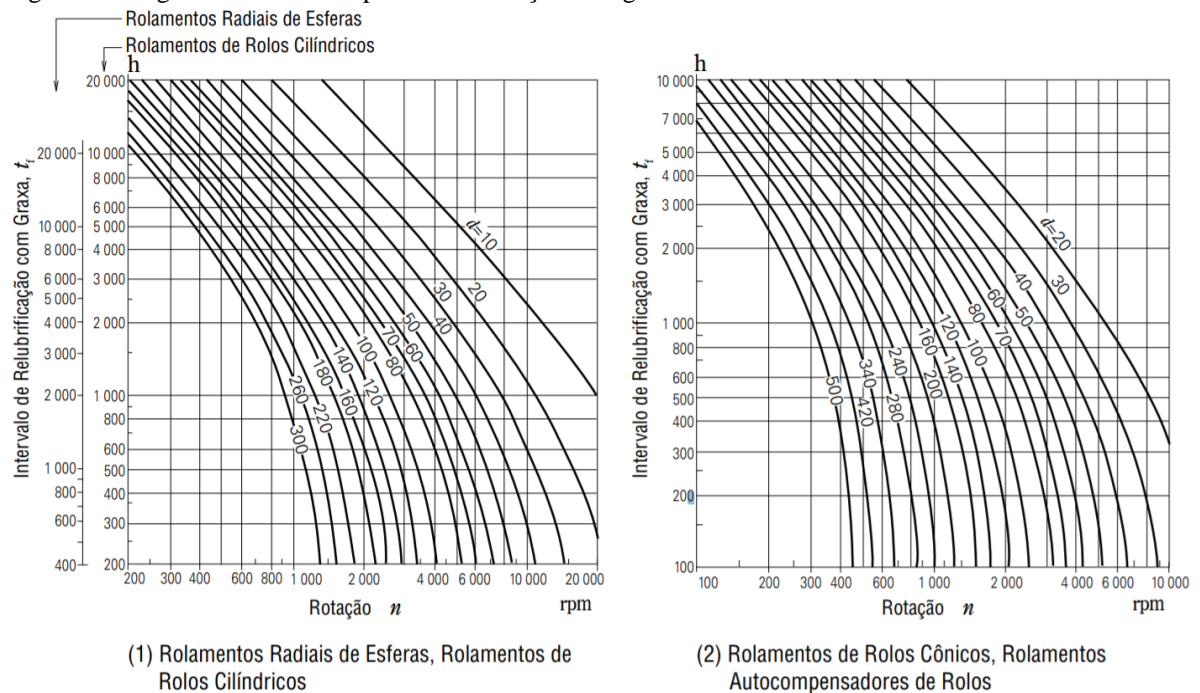
3.3.4 Intervalo de relubrificação para mancais de rolamento

O cerne da manutenção preventiva em rolamentos é destacado pela reposição da graxa, tendo em vista que com o passar do tempo as propriedades lubrificantes tendem a saturar ou evaporar, o que pode desencadear em aumento do atrito entre as partes sólidas gerando calor e permeando a diminuição de vida útil dos componentes. (PAULI; ULIANA, 1997; CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Intervalos de relubrificação para aplicações específicas podem variar significativamente com diferentes tipos de graxas, no entanto os engenheiros ou projetistas devem fornecer o tempo mínimo para substituir ou completar a graxa do rolamento. Já as máquinas que já estão em operação dificilmente mantêm-se com as mesmas características originais, principalmente em relação aos esforços excessivos oriundos de desbalanceamento, vibração ou sobrecarga (KLÜBER LUBRIFICATION, 2009).

Os diagramas expostos pela Figura 9, apresentam de forma genérica o intervalo mínimo de operação para existir a necessidade de reengraxar; destacando que os valores são válidos para temperatura do rolamento inferior a 70°C, acima desta temperatura, a cada aumento de 15°C, é necessário que o intervalo seja reduzido pela metade (NSK, 2019).

Figura 9 - Diagrama de intervalo para relubrificação com graxa.



A eficiência da lubrificação em prevenir travamento no eixo, evitar contaminações e reduzir o consumo de energia elétrica é devida à redução do atrito; no entanto, a lubrificação incorreta poderá ser a causa raiz de sobrecargas, podendo acarretar em interrupção no processo produtivo (TELES, 2017).

A determinação do período de relubrificação está diretamente relacionado com as condições de trabalho que o rolamento é submetido, levando em consideração a rotação, temperatura, dimensões, nível de utilização, tipo de graxa além de sujidades.

No entanto, quando se trata de motores elétricos, têm-se na placa de identificação dos motores as informações que indicam o tipo de graxa, periodicidade e qual quantidade deve ser aplicada (TELES, 2017; INTERLUB, 2018; WEG S. A., 2019)

Além de utilizar o diagrama da Figura 9 ou as instruções fornecidas pelo fabricante, pode-se dimensionar o período de relubrificação aplicando a Equação 5 em conjunto com o Quadro 7, que contempla algumas situações de serviço e se obtêm fatores que auxiliam ‘na previsibilidade para reinserção de graxa no rolamento. (TELES, 2017; INTERLUB, 2018).

$$T = K \left[\left(\frac{14 \times 10^6}{n \cdot (d^{0,5})} \right) - 4 \cdot d \right] \quad (5)$$

Onde:

T = tempo para próxima lubrificação [h];

K = produto dos fatores ($K = F_t \cdot F_c \cdot F_m \cdot F_v \cdot F_p \cdot F_d$) vide Quadro 8 [adimensional];
 n = rotação [rpm];
 d = diâmetro interno do rolamento [mm].

Quadro 7 - Fatores de correção.

Condição	Descrição	Condição de trabalho	Fator de correção
Ft	Temperatura	$t < 65^\circ\text{C}$	1,0
		$65^\circ\text{C} \leq t < 80^\circ\text{C}$	0,5
		$80^\circ\text{C} \leq t < 93^\circ$	0,2
		$93^\circ\text{C} \leq t$	0,1
Fc	Contaminação	Leve, isento de poeira abrasiva	1,0
		Pesada, isento de poeira abrasiva	0,7
		Leve, com poeira abrasiva	0,4
		Pesada, com poeira abrasiva	0,2
Fm	Umidade	Umidade inferior a 80%	1,0
		Umidade entre 80 e 90%	0,7
		Condensação ocasional	0,4
		Umidade ocasional no alojamento	0,2
Fv	Vibração	$v < 7.90\mu\text{m/s}$	1,0
		$7.90\mu\text{m/s} \leq v < 15.75\mu\text{m/s}$	0,6
		$15.75\mu\text{m/s} \leq v$	0,3
Fp	Posição	Horizontal	1,0
		Diagonal 45°	0,5
		Vertical	0,3
Fd	Tipo de rolamento	Rolamento de esferas	0,8
		Rolamento de rolos cilíndricos	0,5
		Rolamento de rolos cônicos	0,3

Fonte: Adaptado de (TELES, 2017; INTERLUB, 2018).

3.3.5 Quantidade de graxa utilizada na relubrificação

A quantidade de graxa utilizada no reabastecimento do lubrificante no interior do rolamento pode ser estimada aplicando a Equação 6, que visa estimar qual o valor mássico necessário, evitando excessos. Vale ressaltar que de acordo com as dimensões dos mancais a graxa deverá ser disponibilizada para garantir a eficiência e a confiabilidade do equipamento (TECNOLUB, 2016; TELES, 2017). Outra maneira de estimar a quantidade de graxa aplicada na relubrificação pode ser inserindo a metade do valor obtido através da Equação 4, ressaltando que todas as estimativas devem ser aplicadas e monitoradas a posteriori, visando atingir a melhor lubrificação para o rolamento.

$$G_r = 0,005 \cdot D \cdot B \quad (6)$$

Onde:

G_r = quantidade de graxa [g];

D = diâmetro externo do rolamento [mm];
B = largura do rolamento [mm].

3.4 Técnicas para analisar a eficiência da lubrificação em rolamentos

A detecção dos primeiros indícios de irregularidades no funcionamento dos rolamentos possibilita que o profissional de manutenção intervenha de maneira planejada, sem interromper o fluxo da produção fabril (SKF, 2019). Uma das metodologias mais simples para identificar a existência de alguma eminente falha em rolamentos, encontram-se nas inspeções rotineiras.

Com a máquina em funcionamento, os operadores ou os próprios profissionais da lubrificação podem lançar mão dessas atividades.

Máquinas consideradas de criticidade alta, cuja falha em rolamentos podem trazer riscos para integridade física dos colaboradores, impactar de forma negativa no meio ambiente ou interromper o processo produtivo, devem ser submetidas a acompanhamentos sistêmicos para interceptar defeitos que acarretem em prejuízos para a organização empresarial (SKF, 1988).

Os principais sentidos: audição, tato e visão, são necessários para observar alguma irregularidade na operação dos rolamentos sendo-os aplicados desde o início da industrialização.

A audição possibilita detectar ruídos anormais originados nos rolamentos, instrui-se que para obter melhores resultados deve-se posicionar uma extremidade de um bastão de madeira, chave de fenda ou objetos similares contra o alojamento, sendo o mais próximo possível do rolamento; e na outra extremidade deve-se posicionar o ouvido. Ao ouvir ruído suave interpreta-se que o rolamento está em boas condições, ruídos fortes e descontinuados, indicam que o rolamento apresenta algum defeito, já o ruído uniforme e metálico pode ser caracterizado como falta de lubrificação (SKF, 1988).

O sentido do tato, está atrelado ao aumento de temperatura do rolamento, porém para essa medição há alguns fatores agravantes pois, pode não ser seguro encostar as mãos nos elementos de uma máquina. Para não negligenciar a segurança do trabalho, utiliza-se pirômetros capazes de registrar a temperatura sem necessariamente haver contato físico. Logo, o aumento da temperatura pode indicar ineficiência na lubrificação ou excesso de atrito sólido (SKF, 1988).

De modo prático, o sentido da visão, possibilita que os profissionais envolvidos nas atividades diárias de um determinado equipamento, identifique sujidades nas adjacências dos

rolamentos, avalie os vedadores ou detecte qualquer outra anomalia que possa danificar o rolamento (SKF, 1988).

Entretanto, as técnicas sensitivas utilizadas para predizer ou identificar as falhas são subjetivas, o que as tornam apenas indicativos para posteriores avaliações com instrumentos específicos de manutenção preditiva.

3.4.1 Inspeções por análises térmicas

O acompanhamento da temperatura operacional dos rolamentos é de suma importância para a manutenibilidade dos equipamentos. Caso não existam modificações no funcionamento da máquina ou sobrecargas nos parâmetros indicados pelo fabricante, e for detectado algum aumento repentino da temperatura, pode-se interpretar como potenciais falhas nos elementos rolantes (SKF, 2019). Ressalta-se que o procedimento de relubrificação com graxa também gera acréscimos na temperatura de operação, mas nesse caso, a irregularidade térmica terá duração de aproximadamente quarenta e oito horas. Nota-se que, rolamentos submetidos à altas rotações tendem a alcançar maiores temperaturas quando lubrificados em excesso (SKF, 2019).

Um dos fatos que possibilitam a execução da manutenção preditiva por verificações térmicas encontram-se na capacidade que os corpos possuem em emitir ondas eletromagnéticas com intensidades que dependem diretamente da agitação das moléculas, logo, a energia é transportada causando dispersão na radiação, permitindo mensurar a temperatura de um corpo sem necessariamente haver contato (CUSTODIO; BALZA, 2006). A medição térmica por radiação é amplamente utilizada na indústria, destacando pelo uso dos pirômetros ópticos que apresentam facilidade no manuseio e medições rápidas, podendo compor o conjunto de ferramentas portadas pelo envolvidos na lubrificação.

A Figura 10 exemplifica a medição da temperatura do mancal aplicando a termometria óptica.

Figura 10 - Aferição de temperatura.



Fonte: (GOMES, 2016).

3.4.2 Inspeções por análise de vibrações

Os procedimentos de análises de vibrações são enquadrados nas classes de ensaios não destrutivos, podendo ser uma das metodologias mais utilizadas na execução de manutenções preditivas, cuja principal característica é o monitoramento da condição da máquina em pleno funcionamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

Apesar da grande aplicabilidade das análises de vibrações, quando se trata de monitoramento rolamentos e, se for efetuada apenas em valores eficazes, pode ser considerada ineficiente na detecção de defeitos prematuros, tendo comprovações que os elementos rolantes não geram grandes energias podendo ser imperceptíveis, quando avaliado os valores eficazes vibracionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

Para evitar a ocorrência de falha na detecção de algum defeito dessa natureza instrui-se que ao se tratar de rolamentos, deve-se analisar os espectros de frequência, utilizando as técnicas de envelopamento que poderá indicar alguma irregularidade. A técnica de envelope envolve um conjunto de tratamentos ou filtros aplicados nos sinais vibracionais que são originados dos rolamentos, como denota a Figura 11 (BEZERRA, 2004; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

Figura 11 - Análise de vibração em mancal de rolamento.



Fonte: Adaptado de (BEZERRA, 2004; ALCOOLBRAS, 2008).

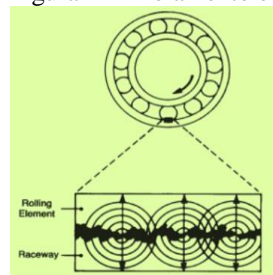
3.4.2.1 Shock Pulse Measurement (SPM)

A metodologia popularmente denominada por SPM ou simplesmente, técnica de medição de pulso de choque, tem a finalidade de detectar o impacto da colisão de duas camadas metálicas em movimento. O choque causado pela colisão produz uma onda que viaja pelo metal com frequências de aproximadamente 36 kHz (SANGURI, 2019).

Instrumentos modernos possuem indicadores de algum defeito pois acendem alguma lâmpada em cores diferentes, sinalizando normalidade ou anormalidade, isso facilita a interpretação feita pelo manutentor que pode relubrificar o rolamento, e caso persista o defeito pode recorrer à análises de vibrações com acelerômetros e técnicas mais eficientes ou ainda alertar os responsáveis para planejar uma intervenção.

A Figura 12 ilustra uma forma de vibração emitida por um rolamento, por ser vibrações ultrassônicas a amplitude é muito baixa o que as tornam simples ruídos ou histerese sendo-a filtrada pelo equipamento para transformar em valores que possibilitam a interpretação da condição do rolamento (PERES, 2017b).

Figura 12 - Rolamento emitindo vibrações.



Fonte: (PERES, 2017b).

4 PROCEDIMENTOS PARA ELABORAR PLANOS DE LUBRIFICAÇÃO

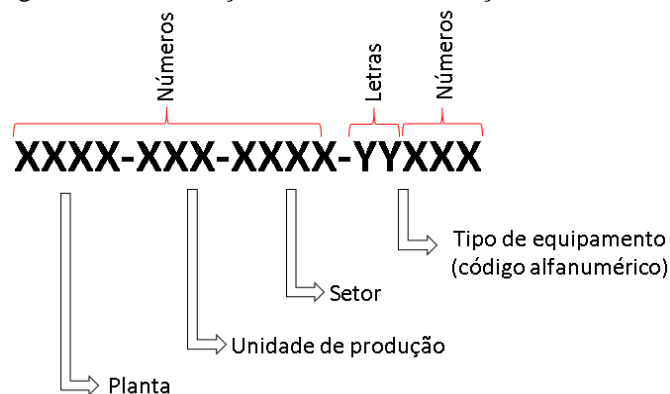
O desenvolvimento dos planos de lubrificação com graxa, devem ser baseados em critérios técnicos que sejam capazes de estimar qual a periodicidade e quantidade ideal de lubrificante que deverá ser utilizado em cada classe de equipamento. Para tal, é necessário coletar informações reais das condições de trabalho de cada máquina e, posteriormente, equalizar as periodicidades em forma de rota de lubrificação onde diariamente o profissional lubrificador fará o acompanhamento e monitoramento utilizando os instrumentos necessários.

4.1 Mapeamento e identificação das características dos equipamentos

Toda metodologia é iniciada pela identificação e cadastro de todas as máquinas que permitem a relubrificação com graxa. Dada a diversidade de equipamentos existentes sugere-se que cada local de instalação seja único, e representado por códigos alfanuméricos que permita identificar onde o equipamento está alocado somente com a utilização desses códigos.

Baseando-se na norma S51 ISA, apresentada pela *INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION*, a qual foi desenvolvida para identificar equipamentos utilizados na instrumentação industrial, faz-se algumas customizações com o intuito de aplica-la em máquinas existentes nos processos de produção. A metodologia para identificar os equipamentos pode ser executada conforme apresenta a Figura 13 (TOGNETTI, 2014).

Figura 13 - Identificação dos locais de instalação.



Fonte: adaptado de (TONGNET, 2014).

Ao término de todo levantamento, cria-se um banco de dados contendo os códigos de identificação e a descrição do equipamento, essas informações facilitam ainda mais a identificação dos locais de instalação.

4.1.1 Definição do tamanho da amostra

Em estudos estatísticos considera-se população ou lote, como todos os elementos que é de interesse para ser avaliado e, amostra, como sendo pequenas partes do lote. Para fins de coletas de informações, os lotes são caracterizados por tipos de equipamentos lubrificados com graxa, sendo-os seccionados por unidade de produção e setor; a quantidade amostra é proporcional ao tamanho do lote. Para tal efetua-se o levantamento de todas as máquinas divididas por unidade de produção e setor, posteriormente, efetua-se a contagem de todos os equipamentos do mesmo tipo.

As conclusões obtidas através de hipóteses constantes nas amostras possibilitam a obtenção do funcionamento de toda população (ASSOCIAÇÃO BRASIELEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1985; SILVA, 2016).

A definição do tamanho da amostra seguiu a metodologia apresentada pela norma regulamentadora NBR 5426, utilizando o plano de amostragem simples e normal conforme tabela 02.

Tabela 2 - Definição de quantidade de amostra	
Tamanho do lote	Tamanho da amostra
2 - 8	3
9 - 15	5
16 - 25	8
26 - 50	13
51 - 90	20
91 - 150	32
151 - 280	50
281 - 500	80
501 - 1200	125

Fonte: adaptado de (ASSOCIAÇÃO BRASIELEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1985).

5 METODOLOGIA

Após definir a quantidade amostral dos equipamentos, faz-se necessário efetuar a verificação no local de instalação. Essas atividades devem ser realizadas com as máquinas em pleno funcionamento e em condições estáveis de operação, esse regime é alcançado após algumas horas de operação.

Os ensaios devem ser efetuados em máquinas que esteja a mais de duas horas em pleno funcionamento, ressalva-se que os tempos de *setup* ou ajustes pré-operacionais não são contabilizados. As medições foram realizadas para identificar as temperaturas e rotações de operação, juntamente coletou-se informações sobre as condições de trabalho como: sujidades, incidência de vapor, utilização de produtos de limpeza ou água.

As temperaturas foram mensuradas utilizando o pirômetro digital, Figura 10, que possibilita a leitura instantânea da temperatura superficial dos mancais e rolamentos.

Para coletar os valores de rotação utilizou-se o tacômetro digital Minipa MDT-2238B, Conforme a Figura 14, que possibilita a obtenção instantânea da rotação. Outras metodologias também podem ser utilizadas quando não for possível realizar a medição com o instrumento. No caso de motores elétricos a rotação pode ser obtida verificando a plaqueta de informações técnicas, ou realizando cálculos específicos para ocasiões em que o motor é manipulado para operar em velocidades reduzidas.

Logo, as informações são anexadas ao banco de dados para consultas posteriores.

Figura 14 - Tacômetro digital.



Fonte: (MINIPA DO BRASIL, 2019).

De posse dessas informações deve-se identificar os modelos de rolamentos utilizados em cada tipo de equipamentos, com isso torna-se possível conhecer as dimensões desses componentes, visto que, os rolamentos são dimensionados de acordo com a rotação e esforços exercidos nos elementos rolantes.

5.1 Verificação das condições de trabalho dos equipamentos

Os equipamentos sujeitos aos ensaios foram selecionados de maneira aleatória respeitando as quantidades amostrais sugeridas na tabela 2.

As atividades executadas nos locais de instalação, devem ser efetuadas após a definição das rotas de coletas de dados e, preferivelmente seguindo o fluxo de fabricação do produto, sendo registrado simultaneamente as informações de rotação e temperatura. Nessa etapa também se coletou as informações necessárias para identificar os modelos de rolamentos.

Para ocasiões em que a máquina possua mais de um eixo rotacional que opere em condições diferentes ou, ainda, possua rolamentos de modelos diferentes, deve-se registrar, com detalhes, a função que o conjunto rotativo exerce na máquina. Equipamentos de grande porte podem oferecer diversas condições de trabalho para o rolamento, nesse sentido faz-se necessário atentar para situações específicas que possam ser interpretados como crítico para a vida útil do lubrificante.

De posse de todas as informações referente as condições de trabalho e dimensões dos rolamentos aplica-se as operações de cálculo e pesquisa contemplando as seguintes etapas:

- a) definir consistência da graxa;
- b) definir o tipo de graxa;
- c) calcular a quantidade de graxa para a primeira aplicação;
- d) definir os intervalos para relubrificação;
- e) calcular a quantidade de graxa para relubrificação.

A Figura 15 apresenta o modelo de formulário utilizado na rota de lubrificação. As informações desse documento devem compor um banco de dados destinado para avaliar possíveis problemas encontrados durante as atividades.

Ressalva-se que ao lubrificar a máquina, faz-se inspeções visuais capazes de detectar anomalias nos mancais, tais irregularidades devem ser registradas e encaminhadas para os responsáveis pelo planejamento de manutenção.

6 DIMENSIONAMENTO DA LUBRIFICAÇÃO

Para efetuar os planos de lubrificação deve-se inicialmente identificar quais são as máquinas que demandam lubrificação com graxa, após conclusão desse levantamento faz-se algumas estimativas para determinar as quantidades de amostras que serão submetidas aos ensaios, vide tabela 2.

A classificação e tipificação dos equipamentos deve seguir um padrão pré-estabelecido devendo ser exclusivo para cada classe de máquina. No Quadro 8 têm-se as siglas atribuídas para cada tipo de equipamento.

Quadro 8 - Legenda das siglas dos equipamentos.

Sigla	Equipamento	Sigla	Equipamento
CC	Condicionador	MM	Moinho de martelo
CL	Classificador	MP	Misturador de pás
CO	Compressor	PL	Prensa peletizadora
DR	Drag de transporte	PR	Peneira rotativa
ED	Recobridor	RE	Redler
EH	Exaustor	RF	Resfriador
EL	Elevador de canecas	RO	Rosca transportadora
ET	Esteira de transporte	SE	Secador
EX	Extrusora	SK	Skipper
FL	Floculador	SO	Secador de ar comprimido
MH	Misturador de helicóide	TM	Triturador
ML	Melaçadeira	TT	Tostador

Fonte: o autor.

As legendas referentes as codificações de planta, unidade de produção e setores são apresentadas no Quadro 9, constando todos os números necessários para acessar o local de instalação do equipamento. Enfatiza-se que cada local de instalação deve ser único, ou seja, cada conjunto alfanumérico deverá ser registrado uma única vez.

Quadro 9 - Codificação de setores.

Sequência	Cod. Numérico	Representação
1º conjunto	1000	Planta fabril de Três Corações-MG
2º conjunto	020	Unidade de produção 02
2º conjunto	030	Unidade de produção 03
2º conjunto	060	Unidade de produção 06
3º conjunto	0100	Recepção
3º conjunto	0200	Pré-moagem
3º conjunto	0300	Mistura
3º conjunto	0400	Moagem
3º conjunto	0500	Extrusão
3º conjunto	0600	Ensaque
3º conjunto	0700	Fardo
3º conjunto	0900	Peletização
3º conjunto	1800	Utilidades
3º conjunto	2100	Sal mineral
3º conjunto	2200	Mix
3º conjunto	2300	Granel
3º conjunto	2500	Tostagem
3º conjunto	2600	Floculado

Fonte: o autor.

Nesse interim, apresenta-se as quantidades de equipamentos existentes em cada setor e o respectivo tamanho amostral, conforme os Quadros 12,13 e 14 apresentados no Apêndice A.

Após coletar os dados dos equipamentos, observou-se que entre as classes de equipamentos e setores similares, os valores de temperatura, rotação e dimensões de rolamentos apresentam valores próximos, essa característica se deve ao fato que as três unidades fabris possuem concepções semelhantes, logo, os planos de lubrificação foram dimensionados utilizando os valores médios das grandezas mensuradas nos equipamentos, vide Quadro 15, Apêndice B.

6.1 Definição de consistência da graxa

Conforme expressado anteriormente, e analisando as características de trabalho dos rolamentos, pode-se aplicar a graxa com consistência 2, visto que a maior média de temperatura

de operação não excede 70°C. No entanto, para certificar quanto ao uso da graxa correta, efetua-se análises no Quadro 4 para verificação da consistência correspondente.

Após certificar a consistência ideal, é selecionado qual o espessante que deve compor a graxa, de acordo com a diversidade e máquinas e avaliando o Quadro 4, onde se apresenta algumas características de graxas, opta-se em aderir ao uso da graxa a base de complexo sulfonato de cálcio, sendo indicado para diversas condições de trabalho em baixas e médias cargas.

Nessa etapa também deve-se atentar para os pontos de lubrificação que podem ter contato direto com os alimentos, onde é necessário indicar na rota de lubrificação quais equipamentos devem ser lubrificados com graxa atóxica.

6.2 Quantidade de graxa por rolamento na primeira aplicação

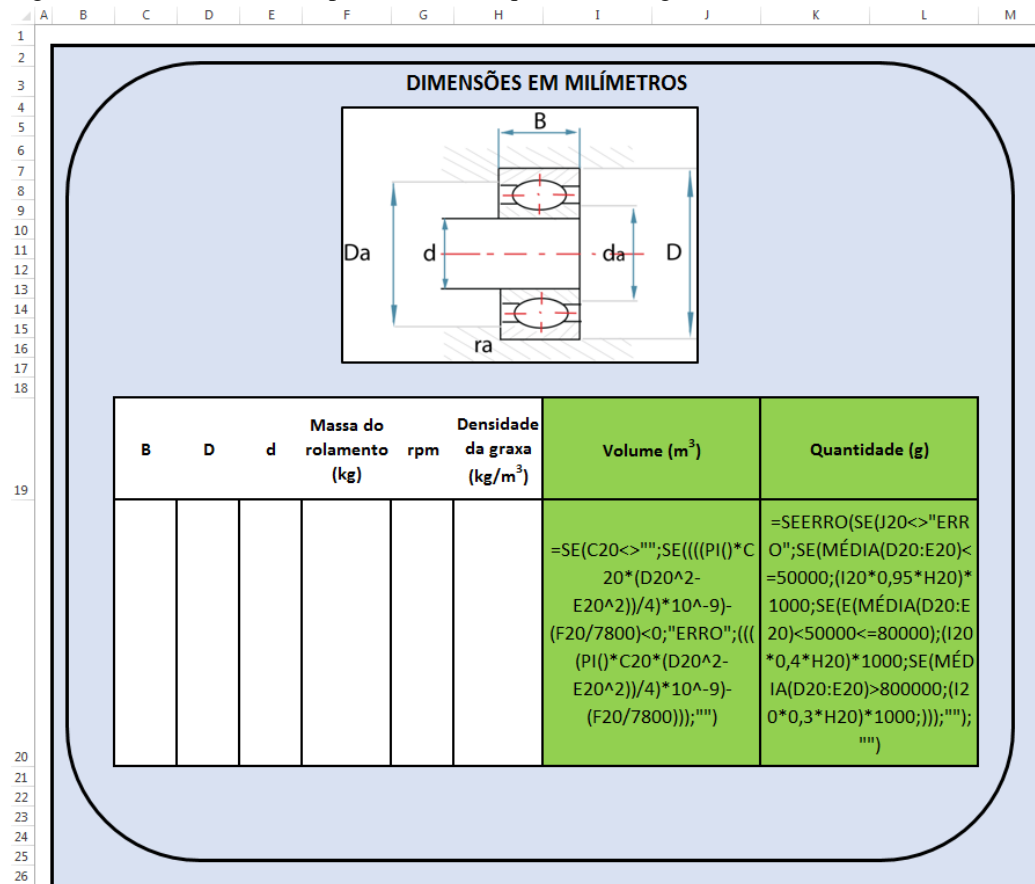
No tocante a manutenção, a primeira lubrificação com graxa ocorre após substituir algum rolamento avariado ou após a efetuação de limpeza de toda graxa. Nesse sentido essas manutenções requerem um maior tempo de preparação, com isso o valor de quantidade de graxa na primeira lubrificação não necessariamente deve compor a rota de lubrificação.

Outro motivo para a omissão dessa informação para as atividades diárias dos profissionais lubrificadores, encontra-se na especificidade de cada aplicação, logo, cada rolamento apresentará massa diferente, o que não torna seguro aplicar valores médios para obter a quantidade de graxa.

De modo a agilizar essa tarefa quando surgir tal necessidade, elaborou-se uma planilha aplicando a Equação 3 em consonância com a tabela 1 e também o Quadro 4, logo, calcula-se não só o volume de graxa, mas também o valor mássico do referido lubrificante.

O modelo desenvolvido é aplicado utilizando o *software* Microsoft Excel, os detalhes do painel estão dispostos na Figura 16, onde é apresentado toda lógica utilizada e também o equacionamento que o *software* disponibiliza.

Figura 16 – Método utilizado para determinar quantidade de graxa.



Fonte: o autor.

6.3 Intervalos de relubrificação e quantidade de graxa

Dentre as diversas formas de dimensionar o período de relubrificação, optou-se por aplicar a Equação 5 e as informações do Quadro 7. Devido ao fato de dimensionar a relubrificação para um grande número de equipamentos, utiliza-se métodos matemáticos capazes de apresentar os períodos de maneira rápida e direta.

Neste interim, têm-se de forma simultânea a periodicidade e a quantidade de graxa em gramas, Equação 6, que se deve aplicar em cada classe de equipamento. Ressalta-se que as operações matemáticas utilizam os valores médios entre os equipamentos de mesma classe instalados em setores similares.

No Apêndice D, Quadro 16, pode-se verificar o período estimado para relubrificação e também a quantidade ideal de graxa a ser aplicada.

6.4 Graxas adotadas para lubrificação

Diante dos resultados obtidos a intermédio de análises e cálculos, efetuou-se pesquisas de mercado avaliando qual graxa seria mais adequada para atender a unidade fabril em questão.

Para viabilizar as atividades dos manutentores e também a gestão de estoque do almoxarifado, optou-se por utilizar somente dois tipos de graxa, onde uma é caracterizada como atóxica H1 e outra convencional, porém ambas NGLI 2.

O Quadro 10, apresenta as especificações técnicas da graxa de grau alimentício adotada para lubrificar os equipamentos com risco de contaminação da graxa com os produtos. Destaca-se que o espessante dessa graxa difere dos citados anteriormente, porém essa graxa apresenta alta resistência a água atendendo assim a necessidade de algumas máquinas que precisam ser lavadas após a operação.

Quadro 10 - Ficha técnica, graxa grau alimentício.

Norma ASTM	Espressante	Bentonita		
	Óleo Base	Semi-Sintético		
	Cor	Branco		
D-445	Viscosidade do óleo Base a 40°C, cSt	220		
D-217	Grau NLGI	1	1-2	2
D-217	Penetração do Cone a 25°C, 0.1mm	310 - 340	290 - 315	265 - 295
D-2265	Ponto de Gota, °C	300	300	300
D-217	Estabilidade Mecânica, %	8	8	8
D-2509	Carga Timken Ok, lb	40	40	40
D-2596	Four Ball, carga de soldagem, kgf	300	300	300
D-1264	Resistência ao lavado por água a 80°C, %	3	3	3
D-2266	Four Ball, desgaste, mm	0.5	0.5	0.5
	Registro NSF	141297	141298	141296
	Fator de rotação	750,000		
	Temperatura de Serviço, °C	-5 a 160		

Fonte: (INTERLUB, 2018).

O Quadro 11 apresenta a graxa convencional adotada para lubrificar os mancais que não possuem riscos de contaminação, é notório que essa graxa apresenta melhores propriedades que a graxa atóxica.

Quadro 11 - Ficha técnica, graxa convencional.

Norma ASTM	Características	
D-217	Grau NLGI	2
	Espessante	Complexo Sulfonado de Cálcio
	Óleo Base	Mineral Grau USP
D-445	Viscosidade óleo Base @ 40°C, cSt	100
D-217	Penetração do Cone @ 25°C, 0.1mm	265 ~295
D-2265	Ponto de Gota, °C	300
D-217	Estabilidade Mecânica, %	5
D-2509	Carga Timken Ok, lb	60
D-2596	Ponto de Solda quatro Bolas, kgf	500
D-2266	Desgaste Four Ball, mm	0%
	Fator de Velocidade	900.000
	Temperatura de Serviço, °C	-30 a 190

Fonte: (INTERLUB, 2018).

7 ATIVIDADES DE LUBRIFICAÇÃO COM GRAXA

As lubrificações dos equipamentos são executadas de forma inteiramente manual, tendo dois colaboradores exclusivamente para exercer a lubrificação sistemática das máquinas existentes na planta.

Por se tratar de uma grande quantidade de equipamentos, os profissionais lubrificadores destinam a maior parte das horas trabalhadas para atender a rota de lubrificação que precisa ser seguida e preenchida para garantir a confiabilidade do monitoramento e possíveis tomadas de decisão.

7.1 Instrumentos utilizados para aplicação de graxa

Para inserir a graxa no interior dos rolamentos, utiliza-se bombas manuais com capacidade total de 4 kg de graxa. Bombas com essa capacidade torna-se ideal para as condições dos equipamentos existentes na fábrica em questão, pois muitos mancais são acessados exclusivamente por escada tipo marinheiro, logo, instrumentos de maior capacidade pode dificultar o acesso ou ainda potencializar a ocorrência de acidente.

Para diferir os instrumentos abastecidas com graxa convencional dos abastecidas com graxa de grau alimentício, atóxica, utiliza-se bombas nas cores azul e vermelha, conforme Figura 17, a azul para graxa alimentícia e vermelha para graxa convencional. Não obstante, o armazenamento de ferramentas utilizadas para lubrificantes convencionais e também os próprios lubrificantes, são feitos de maneira separada, visando reduzir qualquer risco de contaminação.

Figura 17 - Bombas de graxa.



Fonte: o autor.

7.2 Monitoramento da lubrificação

Antes de iniciar a rota de lubrificação, monitora-se todos os equipamentos de alta rotação, caso alguma máquina apresente alguma irregularidade, efetua-se a lubrificação no rolamento avariado e certifica-se que o problema foi resolvido. Para ocorrências que a lubrificação não se mostra suficiente, relata-se o problema para os responsáveis pelo planejamento de manutenção.

Para verificar a qualidade da lubrificação que está sendo executada os profissionais lubrificadores, atuam de maneira intensa efetuando verificações no decorrer do cumprimento da rota de lubrificação, isto é, toda máquina ao ser lubrificada é inspecionada visualmente e caso seja detectado alguma anomalia, faz-se a detecção de vibração utilizando um instrumento dotado da tecnologia *SPM*, Figura 18, que possibilita efetuar um comparativo da vibração em condições normais com a vibração apresentada em possíveis defeitos.

Figura 18 - Instrumento *SPM*.



Fonte: o autor.

Caso o colaborador identifique um sobreaquecimento nos mancais, pode-se utilizar o termômetro digital, pirômetro, Figura 19, porém na maioria das ocasiões que há a elevação significativa da temperatura de operação, pode-se interpretar que o rolamento já apresenta algum defeito grave e deve ser substituído imediatamente.

Figura 19 - Medição de temperatura.



Fonte: o autor.

A forma mais confiável de se monitorar os rolamentos, encontra-se na análise de vibração efetuada nas manutenções preditivas, os equipamentos analisadores de vibração podem detectar as possíveis tendências e defeitos de maneira mais assertiva. No entanto, bimestralmente efetua-se análises de vibração nas principais máquinas que compõem o processo de fabricação.

8 ELABORAÇÃO ROTA DE LUBRIFICAÇÃO

Embasando-se nos valores apresentados no Quadro 17, Apêndice D, dividiu-se os períodos de lubrificação em semanais, quinzenais, mensais, bimestrais e trimestrais; a simplificação dos períodos faz-se necessário para auxiliar na previsibilidade e planejamentos no dia-a-dia de uma fábrica alimentícia, as equalizações desses períodos foram parametrizadas da seguinte maneira:

- a) períodos inferiores a 11 dias, adota-se a lubrificação semanal;
- b) períodos superiores a 11 dias e inferiores a 21, adota-se a lubrificação quinzenal;
- c) períodos superiores a 21 dias e inferiores a 40 dias, adota-se a lubrificação mensal;
- d) períodos superiores a 40 dias e inferiores a 75 dias, adota-se a lubrificação bimestral;
- e) períodos superiores a 75 dias, adota-se a lubrificação trimestral.

A quantidade de graxa utilizada na relubrificação, deve estar indicada na rota de lubrificação de maneira que facilite a interpretação por parte do manutentor e também de outros profissionais indiretamente envolvidos, para isso, ao apontar a quantidade sugerida deve-se indicar o número de bombeadas de graxa que deverá ser aplicada e não necessariamente o valor mássico.

Para identificar a quantidade de graxa expelida por cada bombeada, utilizou-se balanças de precisão, Figura 20, ao efetuar os testes certificou-se que não havia ar no sistema de bombeamento, essa observação é de suma importância de modo que ao negligenciá-la corre-se o risco de aplicar quantidades inadequadas e como consequência prejudicar o funcionamento dos rolamentos.

Figura 20 - Quantidade de graxa por bombeada.



Fonte: o autor.

No Apêndice E, Quadro 18, é apresentado parte da rota de lubrificação utilizado em uma unidade de produção, onde é possível verificar as informações necessárias para ocorrer a efetiva lubrificação e simultaneamente inspecionar as condições dos rolamentos.

9 RESULTADOS OBTIDOS APÓS A IMPLANTAÇÃO

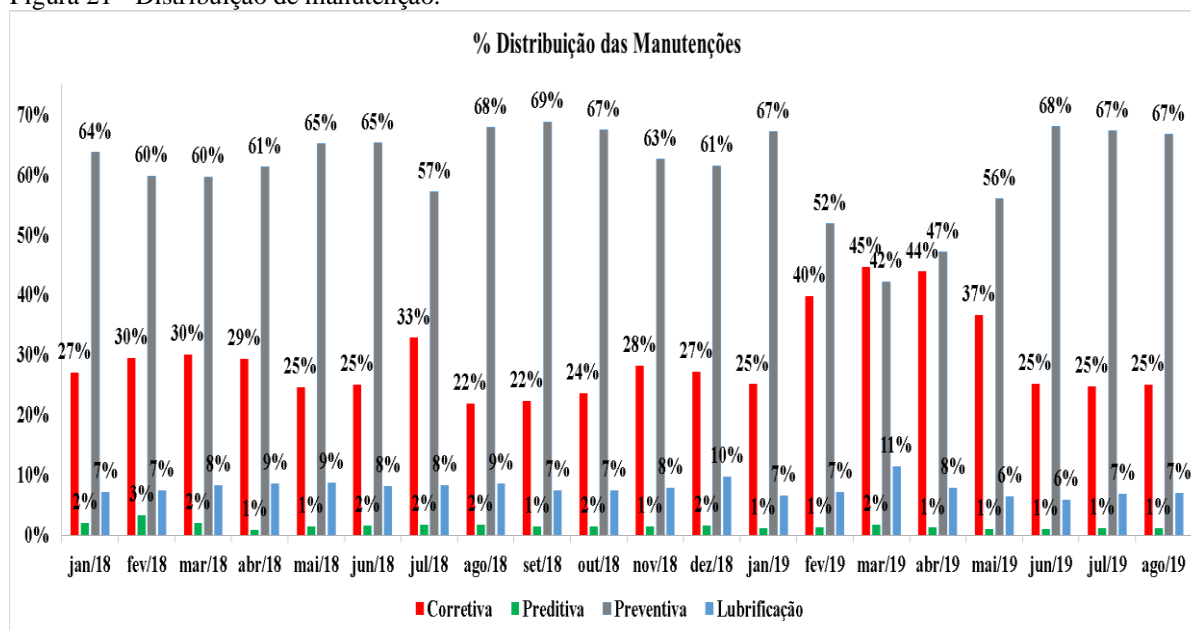
A avaliação dos efeitos causados após a implantação dos procedimentos, foi efetuada a partir de indicadores que possibilitam mensurar de maneira abrangente o quão impactante foi o projeto.

Os índices inerentes a manutenção, são muito úteis para auxiliar nas tomadas de decisão da alta administração, pois quando se tem equipamentos ou linhas de produção que não apresentam confiabilidade de funcionamento pode acarretar em problemas que vão além do prejuízo financeiro direto, fábricas sem linearidade de funcionamento tem grande probabilidade de dificultar a programação da produção e conseqüentemente inviabilizar a entrega do produto ao cliente interferindo na qualidade das atividades.

9.1 Indicador de distribuição de manutenção nas unidades fabris

A Figura 21 apresenta o gráfico de distribuição das manutenções entre janeiro de 2018 e agosto de 2019, nota-se que as relações entre as atividades executadas não possuem mudanças significativas, logo, inicialmente por esses resultados não se pode avaliar o real benefício da lubrificação sistemática, certifica-se que, ainda não se obteve estabilidade nas quebras das máquinas. Portanto nessa modalidade a lubrificação não teve grande protagonismo.

Figura 21 - Distribuição de manutenção.



Fonte: o autor.

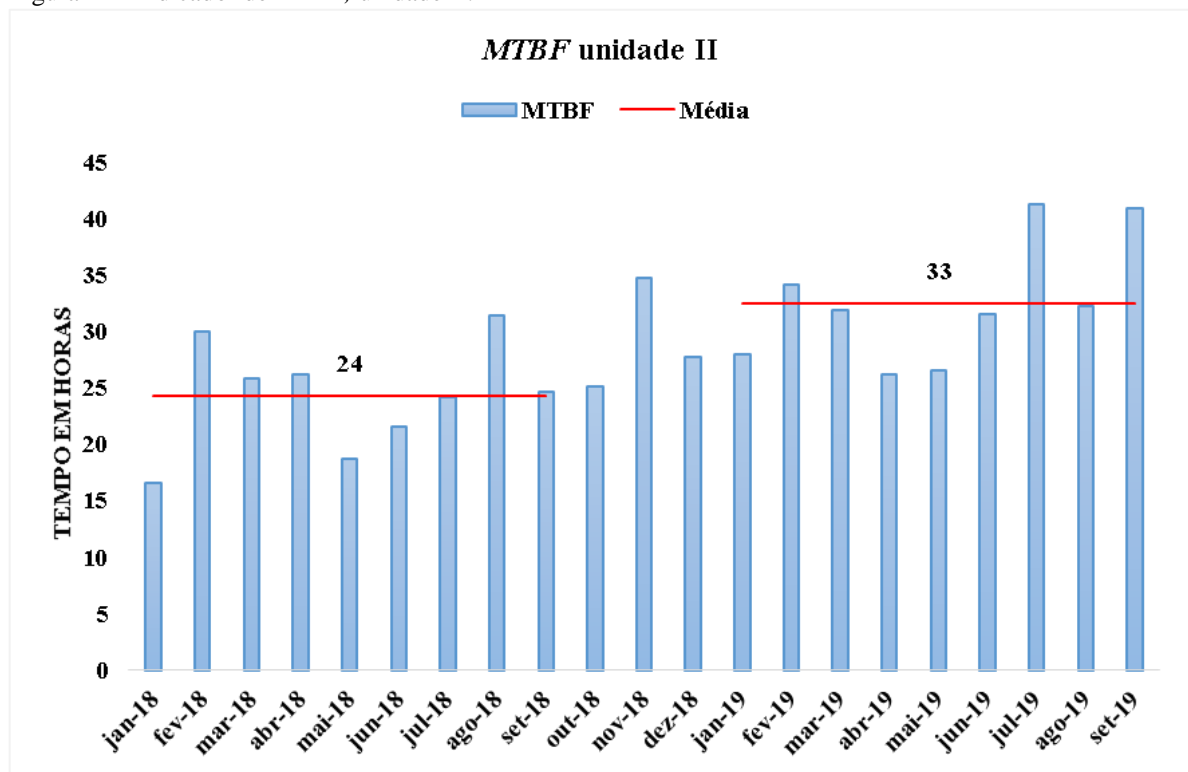
9.2 Indicador de Tempo médio entre falhas

Esse indicador de manutenção é de suma importância para analisar se o projeto causou algum efeito nas horas de trabalho dos equipamentos.

A lubrificação das máquinas pode contribuir diretamente para melhorar os resultados de tempo médio entre falhas, pois grande parte das máquinas possuem rolamentos que precisam de lubrificação no decorrer da vida útil do ativo.

A Figura 22 ilustra a relação de *MTBF* na unidade II de produção, onde se fabrica majoritariamente rações para ruminantes.

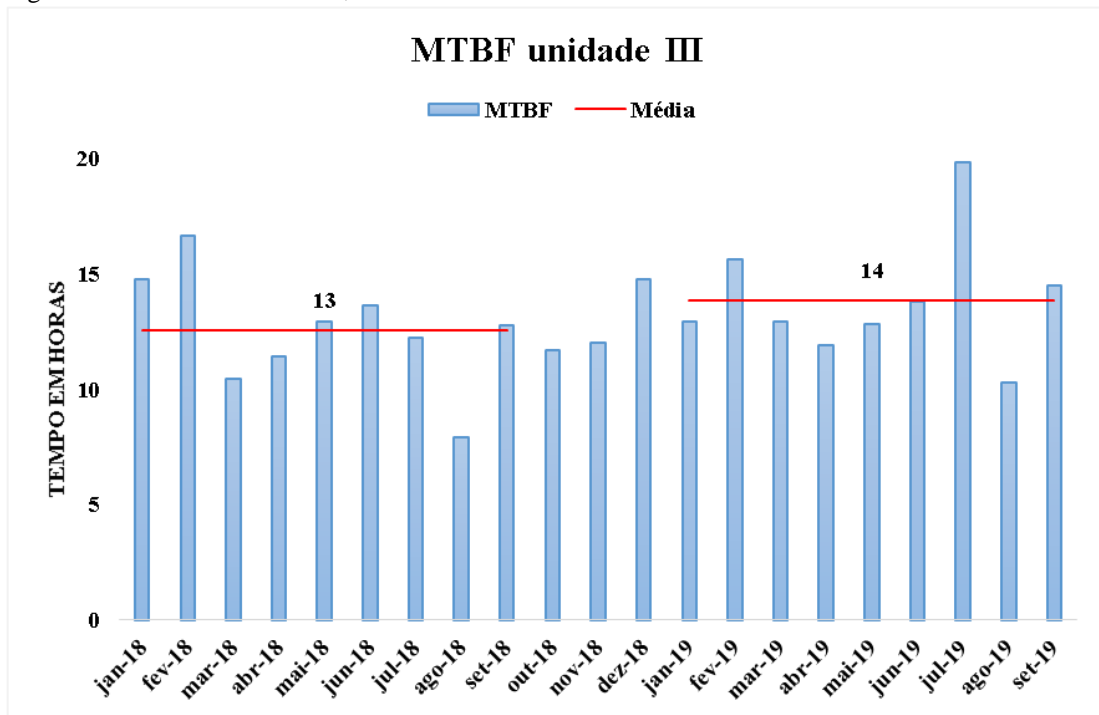
Figura 22 - Indicador de *MTBF*, unidade II.



Fonte: o autor.

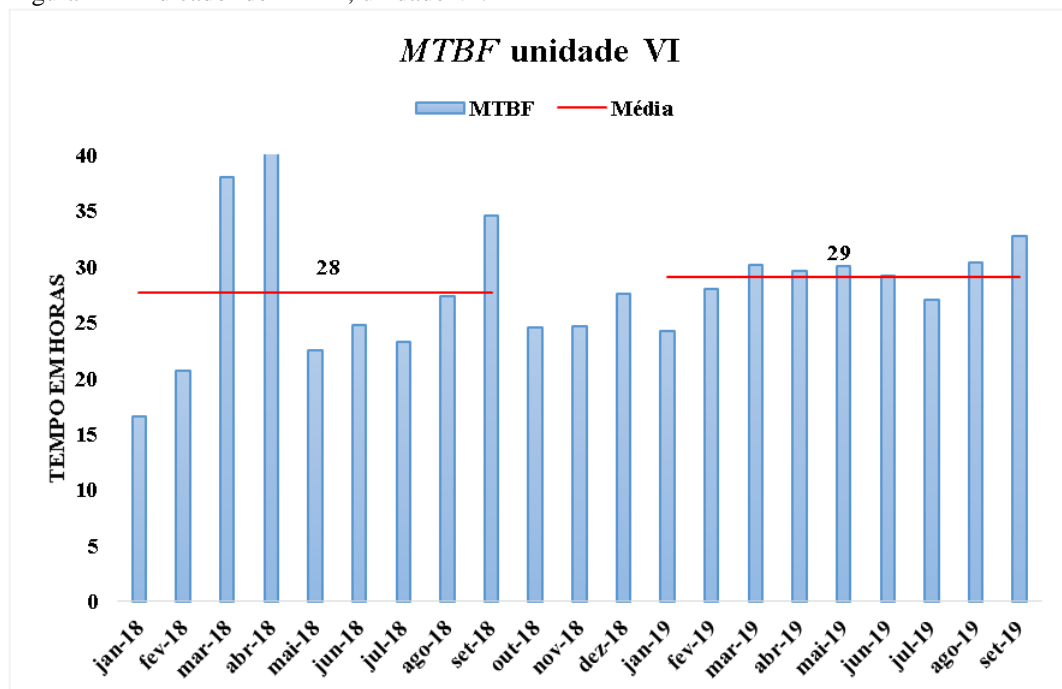
Na sequência tem-se na Figura 23 o gráfico de *MTBF* referente a unidade III de produção, que destina grande parte das atividades para fabricar rações tipo exportação para cães.

Figura 23 – Indicador de *MTBF*, unidade III.



Prosseguindo a apresentação dos indicadores, denota-se através da Figura 24 o indicador de *MTBF* com informações da unidade de produção IV, que possui maior número de máquinas e a produção de rações assemelha-se com a unidade de produção III.

Figura 24 - Indicador de *MTBF*, unidade VI.



Ao verificar os números apresentados nos indicadores, nota-se que após a implantação dos procedimentos de lubrificação foi alcançado um aumento médio para os mesmos períodos de 2018 e 2019, observa-se que o maior resultado foi obtido na unidade de produção II, o que pode ser interpretado que essa unidade em questão necessita de maiores cuidados com os elementos a serem lubrificados.

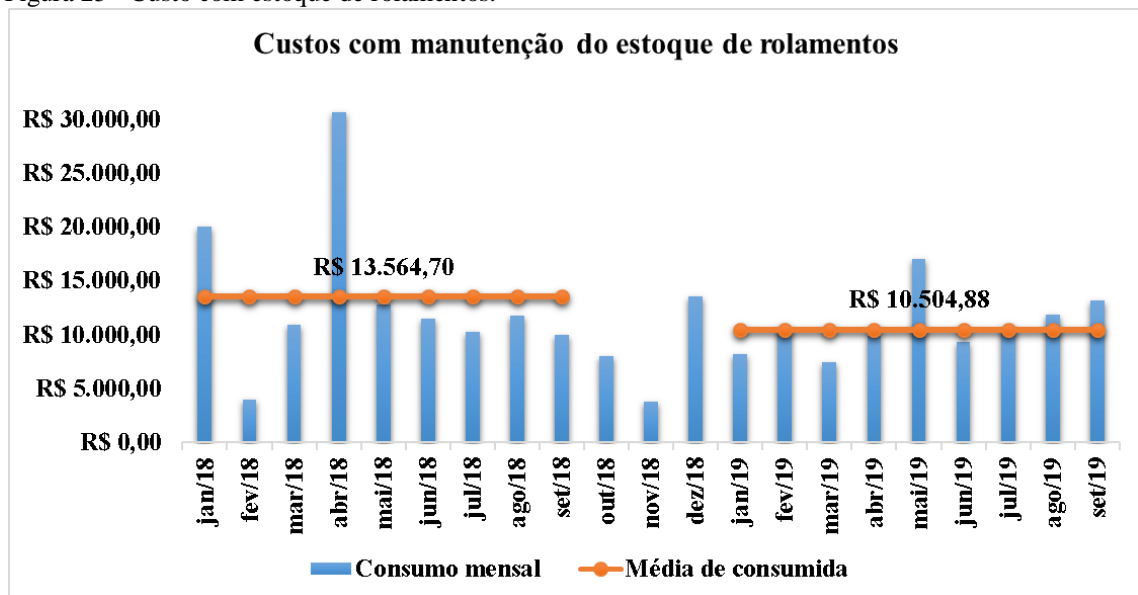
9.3 Custo com manutenção do estoque de rolamentos

O estoque de rolamento é efetuado e controlado pelo setor de almoxarifado, por ser componentes de grande rotatividade pode-se comparar os valores médios para o mesmo período nos anos de 2018 e 2019.

De acordo com os responsáveis pela confiabilidade dos estoques do almoxarifado, manteve-se os critérios de estoques mínimos e máximos de peças em estoque.

Na Figura 25 apresenta-se o gráfico constando os valores gastos com rolamentos, ressalva-se que foi conseguido a redução de 23% dos custos mensais, estes podendo ter relação direta com a qualidade de lubrificação pois diminuiu-se o consumo.

Figura 25 - Custo com estoque de rolamentos.



Fonte: o autor.

10 CONCLUSÃO

Diante das informações e resultados apresentados pode-se concluir que a lubrificação industrial compõe uma das vertentes da manutenção e precisa ser melhorada constantemente, tendo em vista que os rolamentos apesar de estarem lubrificados, sofrem desgastes que podem ser considerados normais.

No decorrer das pesquisas e desenvolvimento do projeto, deparou-se com algumas dificuldades inerentes a escassez de literatura voltada para a elaboração de planos de lubrificação desenvolvidos para fábrica de rações, sendo necessário interpretar e analisar a viabilidade de métodos de lubrificação disponíveis por fabricantes de graxa ou rolamento.

A busca contínua por qualidade nos processos de fabricação contribui positivamente para o sucesso de qualquer mudança aplicada na indústria alimentícia, pois com objetivos claros e definidos, torna-se possível criar estratégias e alcançar resultados condizentes com a expectativa da empresa.

A metodologia aplicada possibilitou inter-relacionar as informações de anomalias detectadas pelos profissionais lubrificadores com outras partes envolvidas, sendo que, além de efetuarem o processo de lubrificação, efetuam-se, também, um acompanhamento que envolve de maneira sucinta as atividades de manutenção preventiva e preditiva.

Em relação aos resultados obtidos, nota-se que foram alcançadas melhorias significativas, enfatizando o aumento de disponibilidade das máquinas. Outra informação relevante é destaca pela redução no consumo de rolamentos, visto que, após da nova metodologia obteve-se resultados significativos acerca do estoque de rolamentos no almoxarifado.

Dessa forma tem-se como viável a utilização do plano de lubrificação e ainda pode-se realçar que a rota de lubrificação deve ser periodicamente revisada e comparada com os resultados de análises de vibração para alterar as periodicidades direcionado lubrificações específicas para cada equipamento.

REFERÊNCIAS

- ALCOOLBRAS. **Desmonte virtual**: usinas não precisam mais abrir todos os equipamentos na entressafra – basta consultar sistemas de monitoração para saber quais máquinas precisam de reparos. Alcoolbras, São Paulo, v. 119, n. 1, p.1-1, 06 mar. 2008. Mensal. Disponível em: <<http://www.revistaalcoolbras.com.br/>>. Acesso em: 27 ago. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Rio de Janeiro). **Lubrificantes**, 2007. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/distribuicao-e-revenda/lubrificantes>>. Acesso em: 30 jul. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5426**: planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos.1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade.1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10082**: Ensaio não destrutivo — Análise de vibrações — Avaliação da vibração mecânica de máquinas com velocidades de operação de 600 rpm a 15 000 rpm. 2 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011. 15 p.
- BELINELLI, Marjorie Maria. **Desenvolvimento de método para seleção de política de lubrificação de máquinas centrada em confiabilidade: aplicação na indústria alimentícia**. 2015. 315 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=2396523>. Acesso em: 09 jul. 2019.
- BEZERRA, Roberto de Araújo. **Deteção de falhas em rolamentos por análise de vibração**. 2004. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/265232>>. Acesso em: 27 ago. 2019.
- BIOLUB (Sorocaba). **O que é índice de viscosidade**. 2019. Disponível em: <<https://biolub.com.br/blog/indice-de-viscosidade/>>. Acesso em: 29 out. 2019.
- CADIUM ÓLEOS LUBRIFICANTES (Diadema). **Óleo lubrificante atóxico**: classificações e indicações, 2019. Disponível em: <<https://www.cadium.com.br/2019/01/08/oleo-lubrificante-atoxico-classificacoes-e-indicacoes/>>. Acesso em: 01 ago. 2019.
- CARRETEIRO, Ronald; BELMIRO, Pedro Nelson. **Lubrificantes & lubrificação industrial**. 1ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 504 p.
- CUSTODIO, Ángel; BALZA, Zahyra. **Sistema de medición de temperatura sin contacto con el proceso**. cut, Puerto Ordaz , v. 10, n. 38, p. 73-76, jun. 2006 . Disponível em: <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212006000200005&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 25 ago. 2019.

DUARTE, Gilmar. **Não se gerencia o que não se pode medir**, 2012. Disponível em: <<https://administradores.com.br/artigos/nao-se-gerencia-o-que-nao-se-pode-medir>>. Acesso em 11 nov. 2019.

DUFFUAA, Salih; RAOUF, Abdul; CAMPBELL, John. **Planning and control of maintenance systems: modeling and analysis**. 1 st ed. New York: John Wiley & sons, 1999.

ESSEL ENGENHARIA (Brasil). **Lubrificação industrial I**, 2014. Disponível em: <<https://essel.com.br/cursos/material/01/Manutencao/31manu2.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2019.

FERRAZ, Marcus Vinícius de Souza. **Interação fluido-estrutura de contato lubrificado entre asperezas e plano rígido via elementos finitos**, 2018. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Modelagem Computacional, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018. Cap. 2. Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=6408920>. Acesso em: 05 jul. 2019.

GOMES, Sinésio Raimundo. **Análise de temperatura com termômetro IR: máquina ligada**, 2016. Disponível em: <<http://manutencaodesistemasindustriais.blogspot.com/2016/05/manutencao-industrial-aula-13-analise.html>>. Acesso em: 25 ago. 2019.

INCGROUP (Ipiranga). **Sistema de lubrificação automática**, 2015. Disponível em: <<http://www.incospray.com.br/Lubrificacao/centralizada/sistema15/?m=6&n=1&o=1>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

JONES JUNIOR, William; JANSEN, Mark. **Space Tribology**. Washington: Crc Press Llc, 2001. 28 p. Disponível em: <http://home.ufam.edu.br/berti/nanomateriais/8403_PDF_CH31.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2019.

INTERLUB, Brasil. **Quantidade de graxa e período de relubrificação** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <esousa@totalalimentos.com.br> em 05 abr. 2018.

KLÜBER LUBRIFICATION, **The element that rolls the bearing: tips and advice for the lubrication of rolling bearings**. 11.11 ed. Munich, 2009: klüber lubrication. 44 p. Disponível em: <https://www.klueber.com/ecomaXL/get_blob.php?name=Lubrificantes_especiais_para_rolamentos.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2019.

LEONARDO, Thiago Marco. **Metodologia sustentável e econômica para lubrificação de frotas de ônibus**, 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia de Transportes, Engenharia, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=2145708>. Acesso em: 30 jul. 2019.

MINIPA DO BRASIL (São Paulo). **Tacômetros**, 2019. Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/diversos/tacometros/169-mdt-2238b>>. Acesso em: 01 out. 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução normativa 4/2007**: regulamento técnico sobre as condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para, 2007. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1864199569>>. Acesso em: 05 set. 2019.

MOBLEY, Keith; HIGGINS, Lindley; SMITH, Ricky. *Maintenance engineering handbook*, 6 ed. New York: McGrawHill, 2002.

MONTREAL ÓLEO PARA COMPRESSORES DE REFRIGERAÇÃO (Barueri). **Qual o significado das siglas que vem nas embalagens de lubrificantes**, 2018. Disponível em: <<http://oleomontreal.com.br/site/conteudo/30-qual-o-significado-das-siglas-que-vem-nas-embal.html>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

NATIONAL LUBRICATING GREASE INSTITUTE (Kansas). *Technical - Grease Glossary*, 2015. Disponível em: <<https://www.nlgi.org/glossary/a/>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

NSK, Rolamentos. **Catálogo de rolamentos**. Brasil: NSK Rolamentos; NSK, 2019. 71 p. Disponível em: <<https://www.especialrolamentos.com.br/catalogos/nsk/catalogo-rolamentos-nsk.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2019.

PAULI, Evandro; ULIANA, Fernando Saulo. **Mecânica lubrificação**. Vitória: Companhia Siderúrgica de Tubarão; Senai, 1997. 98 p. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/docs/apostilas/mecanica-lubrificacao.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

PERES, Luis Carlos Cyrino. **Graxas: conceitos e aplicações**, 2015. Disponível em: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/graxas-conceitos-e-aplicacoes/>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

PERES, Luis Carlos Cyrino. **Lubrificantes de grau alimentício**, 2017a. Disponível em: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/lubrificantes-de-grau-alimenticio/>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

PERES, Luis Carlos Cyrino. *SPM: shock pulse method*, 2017b. Disponível em: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/spm-shock-pulse-method/>>. Acesso em: 09 set. 2019.

PERES, Luis Carlos Cyrino. **Extrema pressão dos lubrificantes**, 2018. Disponível em: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/spm-shock-pulse-method/>>. Acesso em: 17 out. 2019.

PETROBRAS (Brasil). **Refino: entenda o ciclo do refino**. 2019. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/refino/>>. Acesso em: 29 out. 2019.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio de Aquino Nascif. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

RIOS, Thiago. **Lubrificação industrial**. Campinas: Lubrifique, 2009. Disponível em: <http://www.lubrifique.com/downloads/Lubrifique_Apostila_Simples.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2019.

ROLEMBERG, Clovis. **Graxas lubrificantes: princípios básicos e plano de lubrificação**, 2019. Disponível em: <<https://www.agrisoft.com.br/graxas-lubrificantes-principios-basicos-e-plano-de-lubrificacao>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

SANGURI, Mohit. *Condition monitoring techniques: what is shock pulse monitoring (SPM)?*, 2019. Disponível em: <<https://www.marineinsight.com/guidelines/condition-monitoring-techniques-what-is-shock-pulse-monitoring-spm/>>. Acesso em: 09 set. 2019.

SELEME, Robson. **Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. Curitiba: Intersaberes, 2015.

SILVA, Nancy Christiane Ferreira. **Estatística: estatística descritiva**. Varginha. Slide visual, 2016.

SKF; Grupo Skf. **Guia de manutenção e reposição de rolamentos**, 1988. 1ed. Rio de Janeiro: SKF, 1988. 125 p.

SKF; Grupo Skf (Gotemburgo). **Gestão de lubrificação SKF**, 2012. Disponível em: <https://www.skf.com/binary/82-107550/12114PTBR_LubricationManagement.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2019.

SKF; Grupo Skf (Gotemburgo). **Noções básicas dos dados técnicos de graxas**, 2015. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/lubrication-solutions/lubricants/understanding-grease-technical-data/index.html>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

SKF; Grupo Skf (Gotemburgo). **Seleção de graxa ou óleo**, 2016. Disponível em: <<https://www.skf.com/pt/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-process/bearing-lubrication/selecting-grease-or-oil/index.html>>. Acesso em: 07 ago. 2019.

SKF; Grupo Skf (Gotemburgo). **Lubrificantes SKF: a lubrificação inadequada causa mais de 36% das falhas prematuras de rolamentos**, 2018. Disponível em: <https://www.skf.com/binary/149-99598/0901d196802103c2-13238PTBR_GreaseSelectionChart.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2019.

SKF; Grupo Skf (Gotemburgo). **Inspecção e monitoramento**, 2019. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-process/sealing-mounting-dismounting/inspection-monitoring/index.html>>. Acesso em: 25 ago. 2019.

STABELINI, Delton. **Viscosidade SAE: entenda o que significa essa sigla**, 2016. Disponível em: <<https://blog.texaco.com.br/havoline/viscosidade-sae/>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

TAVARES, Lourival. **Excelência na manutenção**. 2 ed. Salvador: Casa da Qualidade, 2001. 160 p.

TECNOLUB, Grupo tecnolub. **Técnicas de lubrificação: rolamentos**, 2016. Disponível em: <https://www.mundomecanico.com.br/wp-content/uploads/2011/07/lubrificacao_de_rolamentos.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2019.

TELES, Jhonata. **Como elaborar planos de lubrificação**. 1 ed. Brasília: Engeteles, 2017.26 p. Disponível em: < <https://engeteles.com.br/plano-de-lubrificacao/>>. Acesso: 19 ago. 2019.

TELES, Jhonata. **Guia prático para implantação de indicadores de manutenção**. 1 ed. Brasília: Engeteles, 2018. p. 8-22.

TOGNETTI, Eduardo Stockler. **Simbologia e Terminologia de Instrumentação da Norma ISA 5.1**. 1 Brasília: UNB, 2014. Disponível em: < http://www.ene.unb.br/estognetti/files/Simbologia_ISA.pdf>. Acesso: 10 out. 2019.

WEG S. A. **Manual geral de instalação, operação e manutenção de motores elétricos**. 29 ed. Jaraguá do Sul: WEG S. A, 2019. p. 46-396. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0c/h3b/WEG-iom-installation-operation-and-maintenance-manual-of-electric-motors-50033244-manual-pt-en-es-de-ro-bg-ru-web.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2019.

APÊNDICE A - Relação de equipamentos e quantidades amostrais

Quadro 12 - Equipamentos/amostras unidade II.

ENSAQUE		
Equip.	Lote	Nº de amostras
EL	4	3
EN	2	2
ET	10	5
MH	1	1
RO	2	2
GRANEL		
Equip.	Lote	Nº de amostras
RO	7	3
MISTURA		
Equip.	Lote	Nº de amostras
EL	3	3
MH	1	1
PR	1	1
RE	1	1
RO	10	5
PELETIZAÇÃO		
Equip.	Lote	Nº de amostras
EH	3	3
EL	3	3
ML	1	1
PL	2	2
PR	1	1
RE	1	1
RF	3	3
RO	12	5
TM	2	2
TOSTAGEM		
Equip.	Lote	Nº de amostras
EL	4	3
RO	6	3
TT	1	1
TOTAL MIX		
Equip.	Lote	Nº de amostras
DR	1	1
EL	2	2
EN	1	1
EP	1	1
ET	3	3
MH	1	1
ML	1	1
RE	1	1
RO	15	5

FLOCULADO		
Equip.	Lote	Nº de amostras
CH	1	1
CL	1	1
EH	1	1
EL	6	3
FL	1	1
RO	2	2
MOAGEM		
Equip.	Lote	Nº de amostras
EH	1	1
EL	1	1
MM	1	1
RO	3	3
RECEPÇÃO		
Equip.	Lote	Nº de amostras
EH	1	1
EL	5	3
RE	1	1
RO	26	13
SAL MINERAL		
Equip.	Lote	Nº de amostras
MP	1	1
SK	1	1

Fonte: o autor.

Quadro 13 - Equipamentos/amostras unidade III.

RECEPÇÃO			MOAGEM		
Equip.	Lote	Nº de amostras	Equip.	Lote	Nº de amostras
EL	6	3	EH	9	5
PR	2	2	EL	15	5
RE	7	3	MM	9	5
RO	4	3	RO	34	13
PRÉ-MOAGEM			MISTURA		
Equip.	Lote	Nº de amostras	Equip.	Lote	Nº de amostras
EH	2	2	DR	3	3
MM	2	2	EL	4	3
RO	4	3	MH	1	1
FARDO			PR	1	1
Equip.	Lote	Nº de amostras	RE	3	3
EF	4	3	RO	31	13
EL	1	1	SK	1	1
EP	4	3	ENSAQUE		
ET	13	5	Equip.	Lote	Nº de amostras
EXTRUSÃO			EL	9	5
Equip.	Lote	Nº de amostras	EN	4	3
CC	8	3	ET	2	2
ED	5	3	RO	58	20
EH	15	5			
EL	8	3			
ET	11	5			
EX	8	3			
RE	3	3			
RF	5	3			
RO	6	3			
SE	5	3			

Fonte: o autor

Quadro 14 - Equipamentos/amostras unidade VI.

ENSAQUE			MISTURA		
Equip.	Lote	Nº de amostras	Equip.	Lote	Nº de amostras
EL	13	5	DR	2	2
EN	7	3	EL	5	3
RE	5	3	MH	1	1
RO	77	20	MM	1	1
EXTRUSÃO			RE	9	5
Equip.	Lote	Nº de amostras	RO	29	13
CC	5	3	SK	1	1
ED	4	3	MOAGEM		
EH	12	5	Equip.	Lote	Nº de amostras
EL	5	3	EH	6	3
EX	5	3	EL	5	3
RF	4	3	MM	6	3
RO	6	3	PR	2	2
SE	4	3	RE	1	1
FARDO			RO	20	8
Equip.	Lote	Nº de amostras	PRÉ-MOAGEM		
EF	1	1	Equip.	Lote	Nº de amostras
EL	1	1	EH	2	2
EP	1	1	EL	3	3
ET	3	3	MM	2	2
RO	1	1	RE	10	5
RECEPÇÃO			RO	9	5
Equip.	Lote	Nº de amostras			
EL	3	3			
PR	2	2			
RE	7	3			
RO	9	5			

Fonte: o autor.

APÊNDICE B – Médias entre os equipamentos similares

Quadro 15 - Valores médios de referência para cálculos.

Equipamento	Setor	VALORES MÉDIOS				
		d (mm)	D (mm)	B (m)	rpm	°C
ENSAQUE						
EL		62,69	113,85	22,85	40,77	41,54
EN		29,17	62,83	18,00	66,17	30,67
ET		25,71	58,43	19,57	80,71	39,43
MH		170,00	280,00	88,00	58,00	43,00
RE		63,33	116,67	24,33	40,00	37,33
RO		46,28	87,21	22,70	69,19	44,40
EXTRUSÃO						
CC		80,00	190,00	40,00	86,17	46,00
ED		20,83	51,17	24,00	76,67	39,33
EH		86,50	155,00	29,90	1735,00	52,90
EL		67,50	122,50	24,00	37,50	35,50
ET		28,33	60,33	22,33	79,33	41,67
EX		80,00	125,00	14,00	79,33	55,67
RE		70,00	126,67	28,00	60,00	42,00
RF		46,67	87,50	22,83	85,50	42,67
RO		40,83	80,83	21,17	69,33	47,00
SE		47,50	88,33	23,00	74,67	58,00
FARDO						
EF		25,00	57,00	21,00	85,50	34,00
EL		72,50	130,00	25,50	40,00	32,00
EP		30,00	62,00	19,00	85,00	32,50
ET		29,38	62,00	21,25	66,50	38,38
RO		55,00	100,00	25,00	101,00	52,00
FLOCULADO						
CH		45,00	85,00	22,00	64,00	46,00
CL		50,00	90,00	24,00	105,00	37,00
EH		110,00	200,00	38,00	1690,00	42,00
EL		58,75	107,50	21,75	39,00	40,75
FL		60,00	110,00	27,00	54,00	50,00
RO		47,50	90,00	23,00	92,00	45,00
GRANEL						
RO		51,67	93,33	24,33	68,67	41,67
MISTURA						
DR		74,00	134,00	26,60	56,80	38,00
EL		66,11	121,11	23,44	37,89	44,22
MH		206,67	350,00	114,67	67,00	39,67
MM		60,00	110,00	22,00	1790,00	60,00
PR		60,00	110,00	27,00	228,50	38,00
RE		71,67	130,00	26,67	56,78	39,56
RO		45,00	85,48	22,23	75,61	44,26
SK		62,50	115,00	25,00	102,50	31,00
MOAGEM						
EH		81,11	145,56	28,44	1731,67	55,78
EL		60,00	110,00	22,00	35,56	37,11
MM		84,44	153,33	30,00	1773,33	51,78
PR		77,50	140,00	26,50	166,50	40,50
RE		90,00	160,00	30,00	88,00	42,00
RO		46,46	87,50	22,75	72,17	42,21
PELETIZAÇÃO						
EH		90,00	163,33	31,33	1745,00	50,67
EL		63,33	116,67	22,67	35,67	34,33
ML		220,00	370,00	120,00	100,00	39,00
PL		90,00	160,00	30,00	67,00	41,50
PR		65,00	120,00	23,00	131,00	35,00
RE		60,00	110,00	27,00	78,00	42,00
RF		40,00	80,00	21,00	85,67	41,00
RO		45,00	85,00	22,20	75,00	40,80
TM		47,50	90,00	23,00	75,50	41,50
PRÉ-MOAGEM						
EH		80,00	145,00	28,00	1737,50	57,50
MM		62,50	110,00	22,50	1775,00	51,00
RO		53,33	96,67	24,67	57,33	45,67
RECEPÇÃO						
EH		73,33	133,33	26,67	1728,33	53,33
EL		71,67	130,00	25,00	38,33	43,33

MM	87,50	155,00	29,50	1775,00	52,50
PR	62,50	115,00	25,00	233,00	42,00
RE	73,75	133,75	26,13	54,25	44,63
RO	44,76	85,24	22,24	66,38	43,10
SAL MINERAL					
MP	200,00	340,00	112,00	43,00	35,00
SK	60,00	110,00	27,00	96,00	42,00
TOSTAGEM					
EL	80,00	143,33	27,33	43,00	41,33
RO	46,67	86,67	22,67	98,00	36,33
TT	55,00	100,00	25,00	52,00	34,00
TOTAL MIX					
DR	90,00	160,00	30,00	84,00	37,00
EL	60,00	110,00	22,00	36,50	50,00
EP	15,00	47,00	17,00	105,00	39,00
ET	30,00	62,00	19,00	74,00	36,67
MH	200,00	340,00	112,00	49,00	38,00
ML	170,00	280,00	88,00	99,00	35,00
RE	65,00	120,00	23,00	47,00	50,00
RO	44,00	84,00	22,20	73,00	50,20

Fonte: o autor.

APÊNDICE C – Verificação do espessante adequado

Quadro 16 - Relação entre nd_m e NGLI.

Sector	Equipamento	d_m	Rotação (rpm)	nd_m (mm/min)	NGLI
0600 - ENSAQUE					
	EL	88,27	40,77	3598,67	2
	EN	46,00	66,17	3043,67	2
	ET	42,07	80,71	3395,77	2
	MH	225,00	58,00	13050,00	2
	RE	90,00	40,00	3600,00	2
	RO	66,74	69,19	4617,77	2
0500 - EXTRUSÃO					
	CC	135,00	86,17	11632,50	2
	ED	36,00	76,67	2760,00	2
	EH	120,75	1735,00	209501,25	2
	EL	95,00	37,50	3562,50	2
	ET	44,33	79,33	3517,11	2
	EX	102,50	79,33	8131,67	2
	RE	98,33	60,00	5900,00	2
	RF	67,08	85,50	5735,63	2
	RO	60,83	69,33	4217,78	2
	SE	67,92	74,67	5071,11	2
0700 - FARDO					
	EF	41,00	85,50	3505,50	2
	EL	101,25	40,00	4050,00	2
	EP	46,00	85,00	3910,00	2
	ET	45,69	66,50	3038,22	2
	RO	77,50	101,00	7827,50	2
2600 - FLOCULADO					
	CH	65,00	64,00	4160,00	2
	CL	70,00	105,00	7350,00	2
	EH	155,00	1690,00	261950,00	2
	EL	83,13	39,00	3241,88	2
	FL	85,00	54,00	4590,00	2
	RO	68,75	92,00	6325,00	2
2300 - GRANEL					
	RO	72,50	68,67	4978,33	2
0300 - MISTURA					
	DR	104,00	56,80	5907,20	2
	EL	93,61	37,89	3546,82	2
	MH	278,33	67,00	18648,33	2
	MM	85,00	1790,00	152150,00	2
	PR	85,00	228,50	19422,50	2
	RE	100,83	56,78	5725,09	2
	RO	65,24	75,61	4933,13	2
	SK	88,75	102,50	9096,88	2
0400 - MOAGEM					
	EH	113,33	1731,67	196255,56	2
	EL	85,00	35,56	3022,22	2
	MM	118,89	1773,33	210829,63	2
	PR	108,75	166,50	18106,88	2
	RE	125,00	88,00	11000,00	2
	RO	66,98	72,17	4833,66	2
0900 - PELETIZAÇÃO					
	EH	126,67	1745,00	221033,33	2
	EL	90,00	35,67	3210,00	2
	ML	295,00	100,00	29500,00	2
	PL	125,00	67,00	8375,00	2
	PR	92,50	131,00	12117,50	2
	RE	85,00	78,00	6630,00	2
	RF	60,00	85,67	5140,00	2
	RO	65,00	75,00	4875,00	2
	TM	68,75	75,50	5190,63	2
0300 - PRÉ-MOAGEM					
	EH	112,50	1737,50	195468,75	2
	MM	86,25	1775,00	153093,75	2
	RO	75,00	57,33	4300,00	2
0100 - RECEPÇÃO					
	EH	103,33	1728,33	178594,44	2
	EL	100,83	38,33	3865,28	2
	MM	121,25	1775,00	215218,75	2
	PR	88,75	233,00	20678,75	2
	RE	103,75	54,25	5628,44	2
	RO	65,00	66,38	4314,76	2

2100 - SAL MINERAL				
MP	270,00	43,00	11610,00	2
SK	85,00	96,00	8160,00	2
2500 - TOSTAGEM				
EL	111,67	43,00	4801,67	2
RO	66,67	98,00	6533,33	2
TT	77,50	52,00	4030,00	2
2200 - TOTAL MIX				
DR	125,00	84,00	10500,00	2
EL	85,00	36,50	3102,50	2
EP	31,00	105,00	3255,00	2
ET	46,00	74,00	3404,00	2
MH	270,00	49,00	13230,00	2
ML	225,00	99,00	22275,00	2
RE	92,50	47,00	4347,50	2
RO	64,00	73,00	4672,00	2

Fonte: o autor.

APÊNDICE D – Período para relubrificação e quantidade de graxa

Quadro 17 - Período e quantidade de graxa para relubrificação.

Setor / Equipamento	d (mm)	D (mm)	B (mm)	rpm	°C	Ft	Fc	Fm	Fv	Fp	Fd	Período (h)	Período (dia)	Quant. (g)
ENSAQUE														
EL	62,69	113,85	22,85	40,77	41,54	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2759,62	114,98	13,00
EN	29,17	62,83	18,00	66,17	30,67	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2499,94	104,16	5,66
ET	25,71	58,43	19,57	80,71	39,43	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2182,54	90,94	5,72
MH	170,00	280,00	88,00	58,00	43,00	1	0,20	1,00	1,00	1,00	0,50	1783,29	74,30	123,20
RE	63,33	116,67	24,33	40,00	37,33	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2798,48	116,60	14,19
RO	46,28	87,21	22,70	69,19	44,40	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	1891,85	78,83	9,90
EXTRUSÃO														
CC	80,00	190,00	40,00	86,17	46,00	1	0,20	0,20	0,60	1,00	0,80	342,63	14,28	38,00
ED	20,83	51,17	24,00	76,67	39,33	1	0,20	0,20	0,60	1,00	0,80	766,55	31,94	6,14
EH	86,50	155,00	29,90	1735,00	52,90	1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	417,28	17,39	23,17
EL	67,50	122,50	24,00	37,50	35,50	1	0,20	0,20	0,60	1,00	0,80	867,28	36,14	14,70
ET	28,33	60,33	22,33	79,33	41,67	1	0,20	0,20	0,60	1,00	0,80	634,36	26,43	6,74
EX	80,00	125,00	14,00	79,33	55,67	1	0,20	0,20	0,60	1,00	0,80	372,67	15,53	8,75
RE	70,00	126,67	28,00	60,00	42,00	1	0,20	0,20	1,00	1,00	0,80	883,48	36,81	17,73
RF	46,67	87,50	22,83	85,50	42,67	1	0,20	0,20	1,00	1,00	0,80	761,05	31,71	9,99
RO	40,83	80,83	21,17	69,33	47,00	1	0,20	0,20	1,00	1,00	0,80	1005,95	41,91	8,55
SE	47,50	88,33	23,00	74,67	58,00	1	0,40	1,00	0,30	1,00	0,80	2593,47	108,06	10,16
FARDO														
EF	25,00	57,00	21,00	85,50	34,00	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2089,51	87,06	5,99
EL	72,50	130,00	25,50	40,00	32,00	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2612,19	108,84	16,58
EP	30,00	62,00	19,00	85,00	32,50	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	1916,87	79,87	5,89
ET	29,38	62,00	21,25	66,50	38,38	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2478,46	103,27	6,59
RO	55,00	100,00	25,00	101,00	52,00	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	1182,12	49,26	12,50
FLOCULADO														
CH	45,00	85,00	22,00	64,00	46,00	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	3113,22	129,72	9,35
CL	50,00	90,00	24,00	105,00	37,00	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	1790,99	74,62	10,80
EH	110,00	200,00	38,00	1690,00	42,00	1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	279,88	11,66	38,00
EL	58,75	107,50	21,75	39,00	40,75	1	0,20	0,40	0,60	1,00	0,80	1789,39	74,56	11,69
FL	60,00	110,00	27,00	54,00	50,00	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	3190,10	132,92	14,85
RO	47,50	90,00	23,00	92,00	45,00	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	2101,41	87,56	10,35
GRANEL														
RO	51,67	93,33	24,33	68,67	41,67	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	1802,11	75,09	11,36
MISTURA														
DR	74,00	134,00	26,60	56,80	38,00	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	2722,23	113,43	17,82
EL	66,11	121,11	23,44	37,89	44,22	1	0,20	0,40	0,60	1,00	0,80	1734,90	72,29	14,20
MH	206,67	350,00	114,67	67,00	39,67	1	0,20	1,00	0,30	1,00	0,50	411,25	17,14	200,67
MM	60,00	110,00	22,00	1790,00	60,00	1	0,40	1,00	0,60	1,00	0,80	147,79	6,16	12,10
PR	60,00	110,00	27,00	228,50	38,00	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	736,30	30,68	14,85
RE	71,67	130,00	26,67	56,78	39,56	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	2768,64	115,36	17,33
RO	45,00	85,48	22,23	75,61	44,26	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	2632,42	109,68	9,50
SK	62,50	115,00	25,00	102,50	31,00	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	1634,58	68,11	14,38
MOAGEM														
EH	81,11	145,56	28,44	1731,67	55,78	1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	458,59	19,11	20,70
EL	60,00	110,00	22,00	35,56	37,11	1	0,20	0,40	0,60	1,00	0,80	1942,77	80,95	12,10
MM	84,44	153,33	30,00	1773,33	51,78	1	0,40	1,00	0,60	1,00	0,80	100,10	4,17	23,00
PR	77,50	140,00	26,50	166,50	40,50	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	887,17	36,97	18,55
RE	90,00	160,00	30,00	88,00	42,00	1	0,20	1,00	1,00	1,00	0,80	2625,54	109,40	24,00
RO	46,46	87,50	22,75	72,17	42,21	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	1809,65	75,40	9,95
PELETIZAÇÃO														
EH	90,00	163,33	31,33	1745,00	50,67	1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	388,55	16,19	25,59
EL	63,33	116,67	22,67	35,67	34,33	1	0,20	0,40	0,60	1,00	0,80	1884,27	78,51	13,22
ML	220,00	370,00	120,00	100,00	39,00	1	0,20	1,00	1,00	1,00	0,80	1369,41	57,06	222,00
PL	90,00	160,00	30,00	67,00	41,50	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	2079,92	86,66	24,00
PR	65,00	120,00	23,00	131,00	35,00	1	0,20	1,00	1,00	1,00	0,80	2079,30	86,64	13,80
RE	60,00	110,00	27,00	78,00	42,00	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	1467,63	61,15	14,85
RF	40,00	80,00	21,00	85,67	41,00	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	1643,50	68,48	8,40
RO	45,00	85,00	22,20	75,00	40,80	1	0,20	1,00	1,00	0,50	0,80	2211,73	92,16	9,44
TM	47,50	90,00	23,00	75,50	41,50	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	2564,65	106,86	10,35
PRÉ-MOAGEM														
EH	80,00	145,00	28,00	1737,50	57,50	1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	464,69	19,36	20,30
MM	62,50	110,00	22,50	1775,00	51,00	1	0,40	1,00	0,60	1,00	0,80	143,55	5,98	12,38
RO	53,33	96,67	24,67	57,33	45,67	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	3189,43	132,89	11,92
RECEPÇÃO														
EH	73,33	133,33	26,67	1728,33	53,33	1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	522,06	21,75	17,78
EL	71,67	130,00	25,00	38,33	43,33	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	4114,04	171,42	16,25
MM	87,50	155,00	29,50	1775,00	52,50	1	0,40	1,00	0,60	1,00	0,80	94,69	3,95	22,86
PR	62,50	115,00	25,00	233,00	42,00	1	0,20	1,00	0,60	1,00	0,80	705,63	29,40	14,38

RE	73,75	133,75	26,13	54,25	44,63	1	0,20	1,00	1,00	1,00	0,80	4760,83	198,37	17,47
RO	44,76	85,24	22,24	66,38	43,10	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2006,03	83,58	9,48
SAL MINERAL														
MP	200,00	340,00	112,00	43,00	35,00	1	0,20	1,00	0,30	1,00	0,50	666,66	27,78	190,40
SK	60,00	110,00	27,00	96,00	42,00	1	0,20	1,00	0,30	1,00	0,80	892,18	37,17	14,85
TOSTAGEM														
EL	80,00	143,33	27,33	43,00	41,33	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2309,19	96,22	19,59
RO	46,67	86,67	22,67	98,00	36,33	1	0,20	1,00	1,00	0,50	0,80	1658,04	69,08	9,82
TT	55,00	100,00	25,00	52,00	34,00	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2309,32	96,22	12,50
TOTAL MIX														
DR	90,00	160,00	30,00	84,00	37,00	1	0,20	1,00	1,00	1,00	0,80	2753,31	114,72	24,00
EL	60,00	110,00	22,00	36,50	50,00	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	3153,77	131,41	12,10
EP	15,00	47,00	17,00	105,00	39,00	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2199,46	91,64	4,00
ET	30,00	62,00	19,00	74,00	36,67	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2202,95	91,79	5,89
MH	200,00	340,00	112,00	49,00	38,00	1	0,20	1,00	1,00	1,00	0,50	1940,31	80,85	190,40
ML	170,00	280,00	88,00	99,00	35,00	1	0,20	1,00	1,00	1,00	0,80	1626,56	67,77	123,20
RE	65,00	120,00	23,00	47,00	50,00	1	0,20	0,40	1,00	1,00	0,80	2347,94	97,83	13,80
RO	44,00	84,00	22,20	73,00	50,20	1	0,20	1,00	1,00	0,50	0,80	2298,88	95,79	9,32

Fonte: o autor.

APÊNDICE E – Rota de lubrificação

Quadro 18 - Rota de lubrificação.

ROTA DE LUBRIFICAÇÃO								Data: __/__/____				
Unidade de produção: II				Setor: recepção				ANOMALIAS (A) alerta (C) crítico				
Loc. Instal.	Equipamento	Lubrif.	Ponto	Referência	Período	Qtd. Bombeadas	Qtd aplicada	Ruído	Vibração	Temperatura	Contaminação	Outros
1000-020-0100-EH004	COMPÔE O CICLONE CN004	G. C.	LA		M	3						
1000-020-0100-EH004	COMPÔE O CICLONE CN004	G. C.	LOA		M	3						
1000-020-0100-EL005	ELEVADOR DE CANECAS, RECEBE RO055 ENVIA PARA RO047/S I041	G. C.	LA	Superior	T	3						
1000-020-0100-EL005	ELEVADOR DE CANECAS, RECEBE RO055 ENVIA PARA RO047/S I041	G. C.	LOA	Superior	T	3						
1000-020-0100-EL005	ELEVADOR DE CANECAS, RECEBE RO055 ENVIA PARA RO047/S I041	G. C.	LA	Inferior	T	3						
1000-020-0100-EL005	ELEVADOR DE CANECAS, RECEBE RO055 ENVIA PARA RO047/S I041	G. C.	LOA	Inferior	T	3						
1000-020-0100-EL015	ELEVADOR DE CANECAS, RECEBE RO056 ENVIA PARA S I047/S I048/S I049	G. C.	LA	Superior	T	3						
1000-020-0100-EL015	ELEVADOR DE CANECAS, RECEBE RO056 ENVIA PARA S I047/S I048/S I049	G. C.	LOA	Superior	T	3						
1000-020-0100-EL015	ELEVADOR DE CANECAS, RECEBE RO056 ENVIA PARA S I047/S I048/S I049	G. C.	LA	Inferior	T	3						
1000-020-0100-EL015	ELEVADOR DE CANECAS, RECEBE RO056 ENVIA PARA S I047/S I048/S I049	G. C.	LOA	Inferior	T	3						

Fonte: o autor.