

LAURA CARRILHO GIARETTA

**PROPOSTA DE REDUÇÃO DO NÚMERO DE LUBRIFICANTES EM
UMA FÁBRICA DE CIGARROS**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2025

LAURA CARRILHO GIARETTA

**PROPOSTA DE REDUÇÃO DO NÚMERO DE LUBRIFICANTES EM
UMA FÁBRICA DE CIGARROS**

Projeto Final de Curso apresentado a
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para a obtenção do título de
graduado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luciano José Arantes

Uberlândia
2025

LAURA CARRILHO GIARETTA

**PROPOSTA DE REDUÇÃO DO NÚMERO DE LUBRIFICANTES EM
UMA FÁBRICA DE CIGARROS**

Projeto de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial para a obtenção do título de
graduado em Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luciano José Arantes

Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Me. Lohanna Ferreira Paiva

Uberlândia, 14 de Maio de 2025.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer imensamente ao meu orientador, Luciano, pela dedicação, paciência e orientação ao longo de todo o processo. Seu compromisso com o meu desenvolvimento acadêmico, suas valiosas orientações e a confiança depositada em mim foram essenciais para o sucesso deste projeto. A sua expertise e disposição para sempre me apoiar foram fundamentais para que eu pudesse alcançar este resultado.

Agradeço também ao meu companheiro, Matheus Talone, que esteve ao meu lado durante todos os momentos, oferecendo suporte incondicional e sendo uma fonte constante de motivação. Sua paciência, amor e compreensão nas horas de pressão e estresse foram cruciais para minha jornada. Obrigada por acreditar em mim e por sempre me incentivar a seguir em frente.

Por fim, não poderia deixar de agradecer à minha mãe, Luzânia Haydee, cujo amor e dedicação foram fundamentais em minha vida desde o início. Mãe, você sempre esteve ao meu lado, me apoiando nas dificuldades e celebrando as conquistas. Sua força, generosidade e exemplos de perseverança são a base sólida que me impulsionaram a chegar até aqui. Não há palavras que expressem o quanto sou grata por tudo o que você fez e faz por mim.

Ao coordenador do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Roberto de Souza Martirs, obrigada pelo apoio.

A todos vocês, meu mais profundo e sincero agradecimento. Este projeto é, de alguma forma, uma conquista de todos nós.

RESUMO

A gestão eficiente de lubrificantes é essencial para a manutenção de equipamentos industriais, influenciando diretamente a produtividade e a sustentabilidade das operações. Em ambientes industriais complexos, a diversidade de lubrificantes pode resultar em desafios relacionados ao controle de estoque, custos operacionais e riscos ambientais. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a possibilidade de redução e substituição de lubrificantes em uma fábrica de cigarros, promovendo a padronização de produtos e a otimização dos processos de manutenção. A metodologia adotada baseou-se em um levantamento detalhado dos lubrificantes cadastrados na fábrica, seguido da análise técnica de suas aplicações e propriedades, com apoio de normas internacionais, fichas técnicas e recomendações de fabricantes. Contatos com fornecedores e fabricantes de equipamentos originais, do inglês *Original Equipment Manufacturers* (OEMs) complementaram o estudo, fornecendo subsídios para a seleção de lubrificantes mais adequados às condições operacionais da fábrica. Os resultados indicaram uma redução significativa no catálogo de lubrificantes, de 25 para 8 produtos, sem comprometer a eficiência ou a proteção dos equipamentos. Para as graxas, o número foi reduzido de 14 para 4, com base no grau NLGI e compatibilidade técnica. Entre os óleos, a análise possibilitou a consolidação de 11 produtos em 4, utilizando normas ISO como referência. Essa simplificação resultou em benefícios operacionais, como redução de custos em até 30 %, otimização do espaço de armazenamento e maior sustentabilidade ambiental, posicionando a fábrica de forma estratégica para um desempenho mais eficiente e sustentável. Essa iniciativa também está alinhada aos princípios de ESG (*Environmental, Social and Governance*), ao promover a redução do impacto ambiental por meio do consumo consciente de recursos, melhorar a segurança operacional ao diminuir riscos de contaminação e contribuir para a governança técnica, com padronização e rastreabilidade de insumos críticos.

Palavras-chave: Lubrificação Industrial; Eficiência Operacional; Sustentabilidade; Redução De Custos; Gestão De Estoque

ABSTRACT

Efficient lubricant management is essential for industrial equipment maintenance, directly influencing productivity and operational sustainability. In complex industrial environments, diverse lubricants can pose challenges related to inventory control, operational costs, and environmental risks. This study evaluated the feasibility of reducing and substituting lubricants in a cigarette manufacturing facility, promoting product standardization, and optimizing maintenance processes. The methodology involved a detailed survey of all lubricants registered in the facility, followed by a technical analysis of their applications and properties, supported by international standards, technical data sheets, and manufacturer recommendations. Additional insights were gained through consultations with local suppliers and Original Equipment Manufacturers (OEMs), providing valuable input for selecting lubricants best suited to the factory's operational conditions. The results revealed a significant reduction in the lubricant catalog, from 25 to 8 products, without compromising equipment efficiency or protection. For greases, the number was reduced from 14 to 4 based on NLGI grades and technical compatibility. Among the oils, the analysis consolidated 11 products into 4, using ISO standards as a reference. This simplification led to substantial operational benefits, including cost reductions of up to 30 % and storage space optimization. It enhanced environmental sustainability, strategically positioning the facility for more efficient and sustainable operations. This initiative aligns with ESG principles by promoting a reduction in environmental impact through the conscious use of resources, enhancing operational safety by minimizing contamination risks, and contributing to technical governance through the standardization and traceability of critical materials.

Keywords: Industrial Lubrication; Operational Efficiency; Sustainability; Cost Reduction; Inventory Management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Demonstração ação lubrificante (Atrito entre superfícies usinadas, com e sem lubrificação (Bonnick, 2011).	16
Figura 2. Classificação do óleo hidráulico em ISO-VG (Storti & Kokot, 2020).	22
Figura 3. Composição da graxa (Telub, s.d.)	23
Figura 4. Projeção de organização dos lubrificantes (Autoria própria, 2025).	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Levantamento de lubrificantes na empresa X	39
Tabela 2. Levantamento de graxas na empresa X.....	40
Tabela 3. Levantamento de óleos na empresa X.....	41
Tabela 4. Substituições de lubrificantes definida pelo estudo.	46

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ENG	Setor Engenharia de Processos
EP	Extrema Pressão
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
HACCP	<i>Hazard Analysis & Critical Control Point</i>
NLGI	National Lubricating Grease Institute
NSF	<i>National Sanitation Foundation</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
SMD	<i>Secondary Manufacturing Department</i>
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1. <i>Objetivo Geral</i>	12
1.1.2. <i>Objetivo Específicos</i>	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA SOBRE LUBRIFICANTES	14
2.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA LUBRIFICAÇÃO	16
2.2.1. <i>Vantagens da Lubrificação</i>	17
2.2.2. <i>Desvantagens da Lubrificação</i>	18
2.3. TIPOS DE LUBRIFICANTES	19
2.4.1. <i>Óleos</i>	19
2.4.2 <i>Graxas</i>	23
2.4.3. <i>Óleos sintéticos</i>	28
2.4.4. <i>Lubrificantes alimentícios</i>	30
2.5 CAUSAS CONTAMINAÇÃO	32
2.6 ARMAZENAMENTO	34
2.7 QUANTIDADE DE APLICAÇÃO	35
3. METODOLOGIA	36
3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	36
3.2. ETAPAS DA IMPLEMENTAÇÃO	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1. LEVANTAMENTO DOS LUBRIFICANTES	39
4.1. CONTATO COM FABRICANTES	41
4.3. ANÁLISE DAS GRAXAS	42
4.4. ANÁLISE DOS ÓLEOS	44
4.5. EFICIÊNCIA DE ARMAZENAMENTO E GANHOS FINANCEIROS	44
4.6. PROPOSTA DE SUSBSTITUIÇÕES E PADRONIZAÇÃO DE LUBRIFICANTES	45
4.6. BENEFÍCIOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E DE GOVERNANÇA (ESG)	47
4.7 PROJEÇÕES DE ORGANIZAÇÃO	48
5. CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

A eficiência operacional e a otimização no setor de manufatura são essenciais para aumentar a produtividade, reduzir custos e melhorar a competitividade geral. Um dos principais fatores que contribuem para essas eficiências é o uso eficaz de lubrificantes, que desempenham um papel vital na minimização do atrito e do desgaste entre as peças móveis em máquinas. Essa redução no atrito não apenas prolonga a vida útil do equipamento, mas também aumenta a eficiência energética, levando a economias significativas de custos operacionais (Gokarn, 2023; Szurdak et al., 2014).

Uma área significativa onde a lubrificação é crítica é no processo de fabricação de seda de cigarro. A produção de fios de cigarro envolve vários processos que exigem controle preciso de parâmetros tecnológicos para garantir qualidade consistente. Ao garantir que as máquinas operem sem problemas, a fábrica pode reduzir o tempo de inatividade e aumentar a produtividade. Além disso, a aplicação de lubrificantes pode impactar significativamente o desempenho de vários componentes de máquinas usados na linha de produção de cigarros. Por exemplo, o uso de lubrificantes sólidos, como compostos à base de boro, demonstrou reduzir o desgaste e o atrito da ferramenta durante os processos de usinagem (Kılıçay & Ulutan, 2016).

Para Kılıçay & Ulutan (2016), isso é particularmente relevante na fabricação de cigarros, onde precisão e eficiência são cruciais para manter a qualidade do produto final. A integração de lubrificantes sólidos pode levar a um processo de produção mais sustentável, minimizando a necessidade de fluidos de corte à base de produtos químicos e reduzindo o impacto ambiental. Além disso, a implementação de estratégias de lubrificação adaptativa pode aumentar ainda mais a eficiência operacional. Os sistemas de lubrificação adaptativa permitem o ajuste da aplicação de lubrificante com base em condições em tempo real, garantindo lubrificação ideal em todos os momentos (Fleischer et al., 2015).

Essa abordagem não apenas estende a vida útil das máquinas, mas também melhora a confiabilidade geral do processo de produção, o que é vital em um ambiente de fabricação de alto volume, como uma fábrica de cigarros. A escolha dos lubrificantes também afeta a eficiência energética. Pesquisas indicam que as características moleculares dos lubrificantes podem influenciar

significativamente seu desempenho na redução do atrito e do desgaste (Taylor, 2012). Ao selecionar lubrificantes com propriedades ótimas, os fabricantes de cigarros podem obter melhor eficiência energética, reduzindo assim os custos operacionais e o impacto ambiental.

Neste contexto, o projeto a seguir se propõe a explorar e apresentar uma proposta de redução do número de lubrificantes em uma fábrica de cigarros, investigando as características e os tipos de lubrificantes empregados, considerando aspectos como viscosidade, compatibilidade com materiais, aplicações específicas e impactos ambientais. Com base nessa análise, será proposta uma estratégia para redução do número de lubrificantes, com potencial para otimizar processos, simplificar a gestão de estoque, minimizar riscos de contaminação cruzada e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

Por meio dessa pesquisa, espera-se contribuir não apenas para a fábrica de cigarros em questão, mas também para a ampla discussão sobre estratégias de otimização nas indústrias, demonstrando como uma análise crítica e uma abordagem sistêmica podem resultar em melhorias significativas nos processos, na gestão de recursos e no impacto ambiental.

Além dos ganhos operacionais e financeiros, a proposta também se alinha às diretrizes de ESG, cada vez mais relevantes no setor industrial. A racionalização no uso de lubrificantes contribui diretamente com a agenda ambiental, ao minimizar resíduos e emissões; fortalece aspectos sociais ao reduzir riscos de saúde ocupacional relacionados à exposição a produtos químicos; e reforça a governança ao permitir maior controle, rastreabilidade e padronização nos processos de manutenção.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a análise da viabilidade e o desenvolvimento de uma proposta estratégica para a redução do número de lubrificantes utilizados em uma fábrica de cigarros, com foco na otimização de processos, simplificação da gestão de estoque, mitigação de riscos de contaminação cruzada e promoção da sustentabilidade ambiental. O estudo

busca propor a redução como uma meta alinhada às necessidades operacionais e estratégicas da fábrica.

1.1.2. Objetivo Específicos

Para alcançar as demandas em custos de manutenção industrial, os objetivos específicos do trabalho são:

- Realizar uma revisão abrangente da literatura sobre lubrificantes industriais, abordando características, tipos, propriedades e aplicações, a fim de estabelecer uma base sólida para a análise;
- Classificar os lubrificantes atualmente em uso na fábrica de cigarros, levando em consideração critérios como viscosidade, compatibilidade com materiais, aplicações específicas e requisitos de segurança;
- Identificar oportunidades de otimização, simplificação e padronização na seleção de lubrificantes, levando em conta as especificidades da fábrica de cigarros e sua produção;
- Avaliar os potenciais benefícios financeiros, operacionais e ambientais que podem ser alcançados por meio da implementação da proposta de redução de lubrificantes;
- Contribuir com os pilares ESG por meio da redução do impacto ambiental, aumento da segurança operacional e melhoria da governança dos processos de lubrificação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo deste trabalho, serão abordados os principais conceitos relacionados a lubrificantes industriais, as razões por trás da sua escolha diversificada, bem como os desafios e benefícios associados a essa variedade. Adicionalmente, serão explorados os fundamentos de uma abordagem de gestão mais focada, considerando a racionalização da seleção de lubrificantes sem comprometer a qualidade ou a eficiência operacional.

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA SOBRE LUBRIFICANTES

Segundo Khamlichi (2022), as primeiras evidências de lubrificação podem de fato ser rastreadas até civilizações antigas, particularmente na Mesopotâmia e no Egito. Descobertas arqueológicas sugerem que essas culturas utilizavam várias substâncias naturais para reduzir o atrito em ferramentas e máquinas, o que é um aspecto fundamental da lubrificação. Por exemplo, o uso de gorduras animais e óleos vegetais era comum nessas sociedades, servindo como lubrificantes primitivos em atividades diárias e práticas iniciais de engenharia. Na Mesopotâmia, tábuas cuneiformes que datam de cerca de 3000 a.C. contêm referências ao uso de óleos para fins de lubrificação. Essas tábuas, que são algumas das primeiras formas de registros escritos, indicam que os sumérios e civilizações posteriores reconheceram os benefícios dos lubrificantes no aumento da eficiência de suas ferramentas e máquinas.

Da mesma forma, no antigo Egito, o Papiro Cirúrgico de Edwin Smith, um texto médico de cerca de 1600 a.C., inclui descrições do uso de óleos e gorduras em procedimentos cirúrgicos, destacando a importância da lubrificação também nas práticas médica. A importância da lubrificação nessas sociedades antigas se estendia além da mera conveniência; era essencial para o desenvolvimento de tecnologia e infraestrutura. Por exemplo, a construção de arquitetura monumental no Egito, como as pirâmides, provavelmente envolveu o uso de lubrificantes para facilitar o movimento de pedras pesadas. Relatos históricos sugerem que os trabalhadores podem ter usado água e óleos para reduzir o atrito ao transportar grandes blocos, melhorando assim a eficiência nos processos de construção (Kemp et al., 2019).

Nesse sentido, ao longo do tempo, o desenvolvimento de lubrificantes foi influenciado por avanços na ciência e engenharia de materiais, levando à criação de produtos especializados adaptados para aplicações específicas. Na indústria de forjamento, por exemplo, lubrificantes à base de grafite têm sido historicamente significativos devido à sua capacidade de suportar altas pressões e temperaturas. Aproximadamente 80% das forjas utilizam esses lubrificantes, que eram tradicionalmente compostos de emulsões de grafite à base de óleo. Mais recentemente, suspensões de partículas de grafite à base de água surgiram como uma alternativa moderna, refletindo uma mudança em direção a práticas mais ecológicas (Reckziegel et al., 2018).

Essa transição destaca a evolução contínua das formulações de lubrificantes em resposta aos avanços tecnológicos e às preocupações ambientais. A indústria farmacêutica também ilustra o desenvolvimento histórico de lubrificantes, particularmente com a introdução do estearato de magnésio. Este lubrificante se tornou um item básico na formulação de formas de dosagem sólidas, melhorando o fluxo de pó e reduzindo o atrito entre partículas. A compreensão de como os lubrificantes afetam as propriedades mecânicas dos comprimidos evoluiu significativamente, com pesquisas indicando que a escolha e a quantidade de lubrificante podem influenciar diretamente a liberação do medicamento e a qualidade geral do produto (Perveen et al., 2018; Li & Wu, 2014; Kanher, 2017).

Essa perspectiva histórica ressalta a importância dos lubrificantes para garantir a eficácia dos produtos farmacêuticos. No campo da tribologia, o estudo do atrito, desgaste e lubrificação viu avanços significativos desde seu reconhecimento formal em meados do século XX. O termo "tribologia" foi cunhado pelo Comitê Jost no Reino Unido, que visava abordar o estado da educação e pesquisa em lubrificação (Morris et al., 2020).

O trabalho deste comitê lançou as bases para estudos tribológicos modernos, levando a inovações em revestimentos de lubrificantes sólidos e lubrificação elasto-hidrodinâmica, que se tornaram essenciais em várias aplicações mecânicas (Donnet & Erdemir, 2004; Johns-Rahnejat et al., 2021). As contribuições históricas de pesquisadores neste campo abriram caminho para o desenvolvimento de lubrificantes avançados que melhoram o desempenho e a longevidade de componentes mecânicos. Além disso, o foco na sustentabilidade

gerou um interesse renovado em biolubrificantes e alternativas ecológicas aos produtos tradicionais à base de petróleo. A dependência histórica de hidrocarbonetos levantou preocupações sobre o impacto ambiental, levando à exploração de lubrificantes renováveis e biodegradáveis (Taylor, 2023; Aiman et al., 2023). Essa mudança reflete uma tendência mais ampla na indústria em direção a práticas sustentáveis, enfatizando a necessidade de lubrificantes que não apenas tenham um desempenho eficaz, mas também minimizem as pegadas ecológicas.

2.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA LUBRIFICAÇÃO

A lubrificação serve como um processo crítico que reduz o atrito e o desgaste entre superfícies móveis, aumentando assim a eficiência e a longevidade das máquinas. Os benefícios da lubrificação se estendem por vários domínios, incluindo conservação de energia, confiabilidade das máquinas e sustentabilidade ambiental. Uma das principais funções da lubrificação é minimizar o atrito entre as peças móveis, o que é essencial para evitar o desgaste. Conforme destacado por Jason et al. (2020), a lubrificação reduz o atrito e o desgaste, o que pode levar à falha da máquina em componentes como motores, eixos, rolamentos e engrenagens.

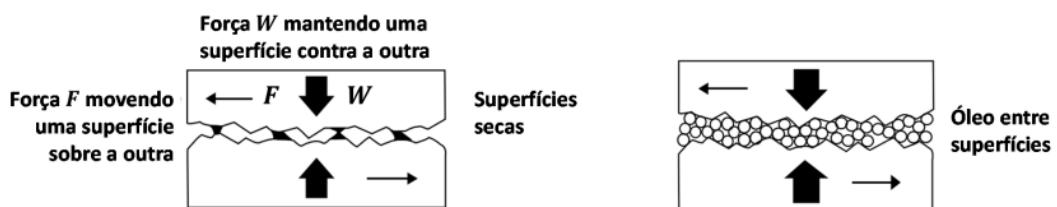


Figura 1. Demonstração ação lubrificante (Atrito entre superfícies usinadas, com e sem lubrificação (Bonnick, 2011).

A redução do atrito não apenas prolonga a vida útil desses componentes, mas também melhora a eficiência operacional geral, pois menos energia é perdida para forças de atrito. Farhanah e Samion (2015) enfatizam ainda que os lubrificantes desempenham um papel vital na extensão da vida útil das máquinas e na melhoria de sua eficiência, protegendo contra o desgaste e reduzindo a

perda de energia. Além dos benefícios mecânicos, a lubrificação também desempenha um papel significativo na conservação de energia. Dessa forma, As vantagens da lubrificação são considerações críticas em várias aplicações industriais e mecânicas, que serão melhor abordados no subtópico a seguir. Entender esses fatores pode ajudar na seleção dos métodos e materiais de lubrificação apropriados para aplicações específicas, melhorando, em última análise, o desempenho e a eficiência.

2.2.1. Vantagens da Lubrificação

- **Redução do atrito:** A principal vantagem da lubrificação é sua capacidade de reduzir significativamente o atrito entre as peças móveis. Essa redução no atrito leva à diminuição do desgaste das máquinas, o que pode estender a vida útil dos componentes e reduzir os custos de manutenção (Lee, 2023; Lubansky et al., 2007). Por exemplo, os lubrificantes podem criar uma película protetora que separa as superfícies, minimizando o contato direto e o desgaste associado.
- **Eficiência energética:** A lubrificação pode aumentar a eficiência energética reduzindo a energia perdida no atrito. Em motores de combustão interna, por exemplo, otimizar a lubrificação pode levar à economia de combustível minimizando as perdas por atrito, o que pode ser responsável por uma parcela significativa do consumo de combustível (Zhang et al., 2022). Isso é particularmente importante em aplicações onde os custos de energia são uma grande preocupação.
- **Dissipação de calor:** Os lubrificantes ajudam a dissipar o calor gerado pelo atrito, evitando assim o superaquecimento dos componentes. Esse gerenciamento térmico é crucial em aplicações de alto desempenho, como em motores automotivos e máquinas industriais, onde o calor excessivo pode levar à falha (Pienaar & Brent, 2012) .
- **Proteção contra corrosão:** Muitos lubrificantes contêm aditivos que fornecem proteção contra corrosão às superfícies metálicas. Isso é particularmente importante em ambientes onde a umidade e os contaminantes podem levar à ferrugem e à degradação dos

componentes (Ma et al., 2012).

- **Benefícios ambientais:** O desenvolvimento de lubrificantes biodegradáveis e ecologicamente corretos, como biolubrificantes, oferece vantagens significativas em termos de sustentabilidade. Esses lubrificantes são derivados de recursos renováveis e podem reduzir o impacto ambiental associado aos lubrificantes tradicionais à base de petróleo. Além disso, a lubrificação eficiente também desempenha um papel relevante na promoção de práticas sustentáveis, alinhadas ao pilar ambiental da agenda ESG (Chen et al., 2014; Rios et al., 2020).

2.2.2. Desvantagens da Lubrificação

- **Estabilidade Térmica e Oxidativa:** Alguns lubrificantes biodegradáveis, embora ecologicamente corretos, podem ter menor estabilidade térmica e oxidativa em comparação com óleos sintéticos ou minerais. Isso pode resultar em desempenho reduzido e vida útil mais curta em condições de alta temperatura (Lee, 2023).
- **Corrosividade e Não Viscosidade:** Lubrificantes à base de água, embora seguros e facilmente disponíveis, geralmente apresentam baixa lubricidade e propriedades antidesgaste ruins, o que pode limitar sua eficácia em certas aplicações. Além disso, eles podem ser corrosivos para superfícies metálicas, o que representa desafios em seu uso (Zhang & Meng, 2014; Ma et al., 2012).
- **Custo:** Lubrificantes avançados, particularmente aqueles que são ecologicamente corretos ou contêm aditivos especializados, podem ser mais caros do que os lubrificantes tradicionais. Este fator de custo pode ser uma consideração significativa para fabricantes que buscam otimizar seus sistemas de lubrificação (Zhang et al., 2022).
- **Gelificação e desempenho em baixa temperatura:** Alguns biolubrificantes podem ter diferentes temperaturas de gelificação em comparação com lubrificantes convencionais, o que pode levar a problemas operacionais em ambientes frios (Pienaar & Brent, 2012).
- **Problemas de lubrificação excessiva:** O uso excessivo de lubrificantes

pode levar ao aprisionamento em máquinas, resultando em rugosidade da superfície e ineficiências operacionais. Isso destaca a importância do gerenciamento preciso da lubrificação para evitar impactos negativos no desempenho (Jarfors et al., 2016).

- **Preocupações ambientais:** Embora muitos lubrificantes sejam projetados para serem ecologicamente corretos, a produção e o descarte de lubrificantes ainda podem representar desafios ambientais. Por exemplo, o descarte inadequado de lubrificantes sintéticos pode levar à contaminação do solo e da água (Chen et al., 2014; Rios et al., 2020).

2.3. TIPOS DE LUBRIFICANTES

A lubrificação pode ocorrer em diversos contextos, desde máquinas industriais até motores automotivos e equipamentos domésticos. O lubrificante, que pode ser um óleo, graxa, fluido hidráulico ou mesmo um revestimento sólido, é escolhido com base nas propriedades específicas necessárias para as condições de operação, como viscosidade, ponto de fulgor, aderência e capacidade de suportar cargas.

A eficácia da lubrificação depende da escolha apropriada do lubrificante, da frequência de aplicação e das condições operacionais do sistema. Uma lubrificação adequada contribui para a redução do desgaste, o aumento da vida útil dos componentes e a melhoria geral do desempenho mecânico, resultando em operações mais suaves e econômicas. (SILVA, J.; MORAES, L.)

2.4.1. Óleos

De acordo com o SENAI (1997), a formulação de um óleo lubrificante é um trabalho complexo, em que o técnico deve estudar a compatibilidade entre os diversos tipos de óleos minerais puros (chamados óleos básicos), entre os diversos tipos de aditivos e entre os óleos minerais puros e os aditivos, de acordo com sua finalidade. Para se atingirem as características desejadas em um óleo lubrificante, realizam-se análises físico-químicas, que permitem fazer uma pré-avaliação de seu desempenho. Algumas destas análises não refletem as condições encontradas na prática, mas são métodos empíricos que fornecem

resultados comparativos de grande valia quando associado aos métodos científicos desenvolvidos em laboratórios. Entre as análises realizadas com os lubrificantes tem-se a densidade, a viscosidade, a índice de viscosidade, o ponto de fulgor (ou de lampejo) e ponto de inflamação (ou de combustão), o pontos de fluidez e névoa, a água por destilação, a água e sedimentos, a demulsibilidade, a extrema pressão, a diluição, a cor, as cinzas oxidadas, as cinzas sulfatadas, as corrosão em lâmina de cobre, a consistência de graxas lubrificantes e a ponto de gota.

2.4.1.1. Densidade dos óleos

A densidade do óleo é um parâmetro crucial em várias aplicações industriais, particularmente nas indústrias de petróleo e alimentos. É definida como a massa de óleo por unidade de volume e influencia significativamente o comportamento dos óleos em processos como lubrificação, extração e preparação de alimentos. Entender a densidade do óleo é essencial para otimizar as operações, garantir a qualidade do produto e atender aos padrões regulatórios.

Essa variação é crítica para cálculos de volume e influencia os métodos usados para transporte e refino. Medições precisas de densidade são essenciais para determinar a qualidade e o valor de mercado do petróleo bruto, pois óleos mais densos geralmente exigem técnicas de processamento mais complexas (El-hoshoudy, 2014).

Além disso, modelos empíricos que incorporam densidade, viscosidade e outras propriedades são usados para aumentar a eficiência das operações de extração e processamento de óleo (Suemar et al., 2012).

No processamento de alimentos, particularmente em aplicações de fritura, a densidade dos óleos pode mudar ao longo do tempo devido a fatores como polimerização e adição de óleo fresco. Pesquisas indicam que a densidade do óleo de fritura tende a aumentar com o uso, o que pode afetar a qualidade dos produtos fritos. O monitoramento da densidade do óleo em aplicações alimentícias é crucial para manter a consistência e a segurança do produto, pois mudanças na densidade podem indicar a degradação da qualidade do óleo e a formação de compostos indesejáveis (Yılmaz, 2004).

2.4.1.2. Viscosidade dos óleos

Os óleos hidráulicos são classificados de acordo com seus graus de viscosidade, que são padronizados pela Organização Internacional para Padronização (ISO) sob o sistema de classificação ISO VG (Grau de Viscosidade). Essa classificação é essencial para garantir que os sistemas hidráulicos operem de forma eficiente e confiável em várias aplicações. A classificação ISO VG fornece uma designação numérica que corresponde à viscosidade cinemática do óleo a 40 °C, medida em centistokes (cSt). Por exemplo, óleos classificados como ISO VG 32 têm uma viscosidade cinemática de 32 cSt a 40 °C, enquanto aqueles classificados como ISO VG 46 têm uma viscosidade de 46 cSt na mesma temperatura (Solea et al., 2016).

A viscosidade dos óleos hidráulicos é um parâmetro crítico que afeta o desempenho dos sistemas hidráulicos. Ela influencia as características de fluxo, as propriedades de lubrificação e a eficiência geral do sistema. À medida que a viscosidade do óleo hidráulico diminui, a vazão aumenta, o que pode levar a mudanças na pressão e na temperatura dentro do sistema (Siddique et al., 2020). Essa relação é vital para manter a estabilidade e a eficiência dos sistemas hidráulicos, pois a viscosidade inadequada pode resultar em lubrificação inadequada, maior desgaste e possíveis falhas no sistema (Novaković et al., 2022).

Diferentes tipos de óleos hidráulicos estão disponíveis, incluindo óleos minerais, óleos sintéticos e óleos de base biológica. Os óleos minerais são derivados do petróleo bruto e são os fluidos hidráulicos mais comumente usados. Eles são classificados em vários graus ISO VG com base em sua viscosidade. Óleos sintéticos, como ésteres de poliol, oferecem melhor estabilidade térmica e menor volatilidade em comparação aos óleos minerais, tornando-os adequados para aplicações de alto desempenho (Morais et al., 2022). Óleos hidráulicos de base biológica, derivados de recursos renováveis, estão ganhando popularidade devido aos seus benefícios ambientais e biodegradabilidade (Deuster & Schmitz, 2021). Esses óleos também podem ser formulados para atender a classificações ISO VG específicas, como ISO VG 32 ou ISO VG 46, dependendo dos requisitos da aplicação (Sammaiah & Padmaja, 2014).

A viscosidade dos óleos hidráulicos pode ser afetada pela temperatura,

pressão e presença de aditivos, como mostrado na Fig. 2. Por exemplo, a viscosidade dos óleos hidráulicos normalmente diminui com o aumento da temperatura, o que é uma característica comum da maioria dos fluidos (Şolea et al., 2016). Por outro lado, a pressão pode aumentar a viscosidade, particularmente em aplicações de alta carga (Siddique et al., 2020). Aditivos, como agentes antidesgaste e melhoradores do índice de viscosidade, também podem modificar o comportamento da viscosidade dos óleos hidráulicos, melhorando seu desempenho sob condições operacionais variáveis (Armylisas et al., 2019).

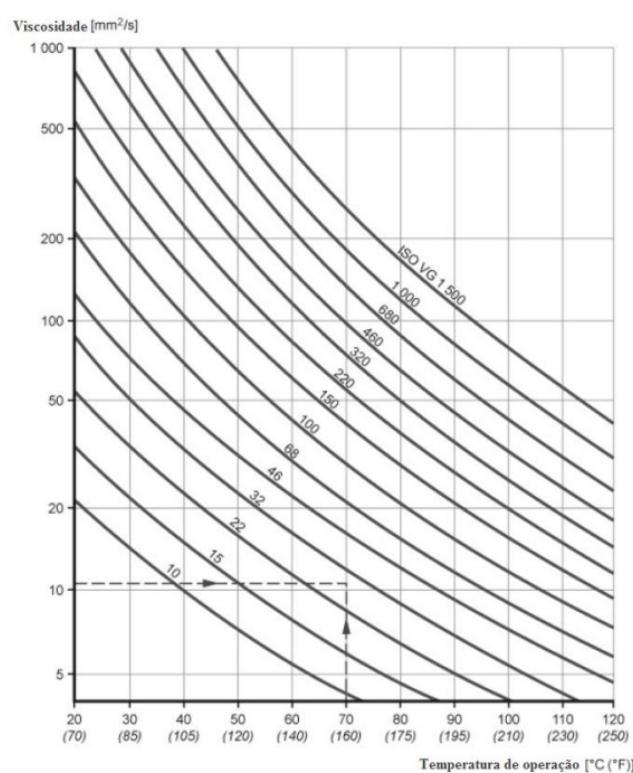


Figura 2. Classificação do óleo hidráulico em ISO-VG (Storti & Kokot, 2020).

Dessa forma, em suma os óleos industriais são divididos em 18 grupos de viscosidade (ISO-VG), que se referem a 40 °C, a fim de dar uma visão geral e facilitar a seleção de acordo com a ISO. Os grupos de viscosidade 22 a 100 VG são geralmente usados:

- VG 22 para condições árticas ou para cabos extremamente longos;
- VG 32 para condições de inverno na Europa Central;

- VG 46 para condições de verão na Europa Central (23°C no ápice do verão) ou para salas fechadas;
- VG 68 para condições tropicais ou para salas com forte acumulação de calor;
- VG 100 para uso com geração excessiva de calor.

2.4.2 Graxas

As graxas são lubrificantes semissólidos que consistem em um agente espessante combinado com um lubrificante líquido. Elas são usadas em aplicações onde os lubrificantes líquidos podem não permanecer no lugar, como em rolamentos e engrenagens. Conforme mostra a Fig. 3, as graxas podem ser formuladas com várias bases, incluindo óleos minerais, sintéticos ou de origem biológica, e podem conter aditivos para melhorar o desempenho (Silva et al., 2021; Kailas & Chatra, 2014).



Figura 3. Composição da graxa (Telub, s.d.)

- **Óleos Básicos:** O óleo básico compõe a maior parte de uma graxa, representando 80 a 97 % de seu peso. A escolha do óleo básico pode ser por óleo mineral, óleo sintético ou qualquer fluido que proporciona características de lubrificação.
- **Espessantes:** O espessante pode ser qualquer material que, em combinação com o óleo básico, produzirá uma estrutura entre sólida e

semissólida, como sabão não saponificado.

- **Aditivos:** Assim como os aditivos de óleos lubrificantes, os aditivos e modificadores de graxas atribuem propriedades especiais ou modificam propriedades existentes. Aditivos e modificadores geralmente utilizados em graxas lubrificantes são aditivos antioxidantes, inibidores de ferrugem, polímeros, aditivos de Extrema Pressão (EP), agentes anti-desgaste, agentes lubrificidade ou redutores de atrito.

2.4.2.1 Sistema de classificação da graxa lubrificante

O sistema de classificação do *National Lubricating Grease Institute* (NLGI) é um padrão amplamente reconhecido usado para categorizar graxas lubrificantes com base em sua consistência e textura. Ela fornece um método padronizado para identificar e comparar a consistência de diferentes graxas, facilitando a seleção para aplicações específicas (Yeong et al., 2004; Zuhan et al., 2022).

Essa classificação padroniza a seleção da graxa ideal para aplicações específicas, especialmente em contextos industriais e automotivos. O sistema de classificação NLGI usa uma escala numérica que varia de 000 a 6, onde cada grau corresponde a uma consistência específica da graxa. Os graus são definidos com base no valor de penetração trabalhado, que é uma medida da maciez ou dureza da graxa (Muhammed et al., 2023).

A seguir estão os principais graus na classificação NLGI:

- **NLGI Grau 000:** Este grau representa uma graxa semifluida, que é muito macia e pode fluir facilmente. É normalmente usada em aplicações que exigem um lubrificante de viscosidade muito baixa, como em sistemas de lubrificação centralizada.
- **NLGI Grau 00:** Um pouco mais espessa que o grau 000, esta graxa ainda é relativamente macia e é frequentemente usada em aplicações onde um lubrificante semifluido é necessário.
- **NLGI Grau 0:** Este grau é mais firme que o grau 00 e é adequado para aplicações onde um lubrificante mais espesso é necessário, como em

alguns rolamentos.

- **NLGI Grau 1:** Este grau é uma escolha comum para muitas aplicações, oferecendo um bom equilíbrio entre maciez e rigidez. É frequentemente usado em rolamentos de rodas automotivas e lubrificação de uso geral.
- **NLGI Grau 2:** Este é um dos graus de graxa mais amplamente usados, caracterizado por sua versatilidade. É macio o suficiente para lubrificar a maioria dos rolamentos, sendo rígido o suficiente para manter sua estrutura sob estresse mecânico. Por exemplo, lubrificantes de graxa à base de oleína de palma com uma penetração trabalhada de 276 dmm se enquadram nesta classificação Muhammad et al. (2023) .
- **NLGI Grau 3:** Este grau é mais firme que o grau 2 e é usado em aplicações que exigem um lubrificante mais espesso, como em máquinas pesadas.
- **NLGI Grau 4:** Este grau é ainda mais rígido e é usado em aplicações onde alta estabilidade mecânica é necessária.
- **NLGI Grau 5:** Este grau é muito rígido e é normalmente usado em aplicações especializadas onde um alto grau de resistência ao fluxo é necessário.
- **NLGI Grau 6:** O grau mais rígido, usado em aplicações que exigem máxima estabilidade e resistência ao fluxo, como em certas máquinas industriais.

Entender o grau NLGI ajuda a prever o desempenho da graxa em várias condições, incluindo variações de temperatura e estresse mecânico (Sánchez et al., 2014; Lijesh, 2023) . Diferentes aplicações exigem diferentes consistências de graxa. A classificação NLGI ajuda engenheiros e técnicos a selecionar a graxa apropriada para máquinas e condições operacionais específicas, garantindo desempenho e longevidade ideais (Zuhan et al., 2022). Saber o grau NLGI também pode ajudar a avaliar a compatibilidade com lubrificantes existentes em um sistema, o que é essencial para evitar problemas relacionados à mistura de diferentes tipos de graxas (Raj et al., 2021).

2.4.2.2 Principais características da graxa lubrificante

Além do sistema de classificação mencionado na seção anterior, existem outros parâmetros que devem ser considerados para fazer seleção adequada da graxa, sendo eles:

- **Ponto de gota:** O ponto de gota é definido como a temperatura na qual uma graxa, quando aquecida, começa a fluir sob a influência da gravidade. É um indicador-chave da estabilidade térmica da graxa e sua capacidade de manter sua consistência em temperaturas elevadas. Um ponto de gota mais alto geralmente indica que a graxa pode suportar temperaturas operacionais mais altas sem perder suas propriedades lubrificantes, tornando-a adequada para aplicações em ambientes de alta temperatura, como em máquinas automotivas e industriais (Yao et al., 2019). O ponto de gota é normalmente medido usando métodos padronizados como ASTM D566 ou ASTM D2265. Esses métodos envolvem o aquecimento de uma amostra de graxa em um ambiente controlado e a observação da temperatura na qual ela começa a fluir. A medição precisa é essencial para garantir que a graxa atenda às especificações exigidas para sua aplicação pretendida (Dube, 2023). Graxas com altos pontos de gota são particularmente valiosas em aplicações onde máquinas operam em temperaturas elevadas, como em motores automotivos, rolamentos industriais e máquinas pesadas. Selecionar uma graxa com um ponto de gota apropriado é crucial para evitar falhas no lubrificante, o que pode levar ao aumento do desgaste, superaquecimento e, finalmente, falha do equipamento (Kim & Rothstein, 2016). Por outro lado, graxas com pontos de gota mais baixos podem ser adequadas para aplicações em ambientes mais frios ou onde menor viscosidade é desejada. Entender as condições operacionais e as faixas de temperatura de aplicações específicas é essencial para selecionar a graxa certa (Tan et al., 2019).
- **Solubilidade em água:** Uma característica primária da graxa

resistente à água é sua baixa solubilidade em água. Graxas que se dissolvem ou emulsionam em água podem levar à falha de lubrificação e ao aumento do desgaste dos componentes. Graxas resistentes à água eficazes são projetadas para repelir água e manter suas propriedades lubrificantes mesmo em condições úmidas (Gurt & Khonsari, 2020). O desempenho da graxa resistente à água é normalmente avaliado usando testes padronizados, como o DIN 51807, que avalia a capacidade da graxa de resistir à lavagem com água e manter suas propriedades em condições úmidas. Outros testes podem incluir a medição da resistência à pulverização de água da graxa e sua capacidade de reter consistência após a exposição à água (Bosman & Lugt, 2018).

- **Prevenção de corrosão:** A resistência à corrosão em graxas lubrificantes é uma propriedade crítica que garante a longevidade e a confiabilidade dos componentes mecânicos, principalmente em ambientes onde há umidade e contaminantes. A capacidade da graxa de proteger contra a corrosão é influenciada por sua formulação, incluindo o tipo de espessante, óleo base e a presença de inibidores de corrosão. As graxas resistentes à água geralmente contêm inibidores de corrosão que protegem as superfícies da ferrugem e da degradação, garantindo a longevidade do maquinário (Lijesh, 2023; Bosman & Lugt, 2018).
- **Estabilidade mecânica:** A estabilidade mecânica garante que a graxa retenha sua consistência ao longo do tempo e sob condições operacionais. Uma graxa que perde sua consistência pode levar à lubrificação inadequada, resultando em aumento de atrito, desgaste e falha potencial de componentes mecânicos (Martín-Alfonso et al., 2009; Delgado et al., 2006). As graxas são frequentemente submetidas a forças de cisalhamento durante a operação, o que pode causar alterações em sua microestrutura e propriedades reológicas. Graxas com alta estabilidade mecânica podem suportar essas forças de cisalhamento sem degradação significativa, garantindo lubrificação confiável (Zhou et al., 2017; Hu et al., 2022). Graxas que apresentam boa estabilidade mecânica

têm menos probabilidade de vazar de seus pontos de aplicação, o que é particularmente importante em rolamentos selados e outros sistemas fechados. Essa característica ajuda a manter a integridade da lubrificação e evita a contaminação de fontes externas (Kozdrach, 2020). A estabilidade mecânica é comumente avaliada usando o teste de estabilidade de rolagem (ASTM D 1831), onde a graxa é submetida a cisalhamento entre um rolo pesado e um cilindro rotativo oco em temperaturas elevadas (normalmente em torno de 80 °C). O teste mede a mudança na penetração antes e depois do processo de cisalhamento, fornecendo uma indicação da capacidade da graxa de manter sua consistência sob estresse mecânico (Zhou et al., 2017; Ren et al., 2021).

- **Desempenho sob EP:** As graxas de EP são projetadas para lidar com altas cargas sem degradação significativa. Por exemplo, graxas de lítio-cálcio com aditivos EP podem atingir capacidades de carga de até 800 kgf em testes de quatro esferas, demonstrando sua eficácia em aplicações de alta pressão (Mohammed, 2013). Essa capacidade de carga é essencial para evitar desgaste e estender a vida útil dos componentes. A incorporação de aditivos EP não apenas aumenta a capacidade de carga, mas também reduz o atrito entre as peças móveis. Essa redução no atrito é crucial para melhorar a eficiência das máquinas e minimizar as perdas de energia (Joysula et al., 2021). Graxas de EP também devem manter suas propriedades sob temperaturas elevadas, pois altas cargas geralmente geram calor significativo (Nehme et al., 2020). Por fim, muitas aplicações expõem as graxas à umidade, o que pode comprometer seu desempenho. As graxas de extrema pressão resistentes à água são formuladas para repelir água e manter suas propriedades lubrificantes mesmo em condições úmidas (Nabhan et al., 2021).

2.4.3. Óleos sintéticos

Os óleos sintéticos são lubrificantes projetados para fornecer desempenho superior em comparação aos óleos minerais tradicionais. Eles são produzidos por meio de processos químicos que permitem controle preciso sobre sua estrutura molecular, resultando em óleos com propriedades aprimoradas, adaptadas para aplicações específicas. O uso de óleos sintéticos cresceu significativamente em vários setores devido às suas inúmeras vantagens, incluindo estabilidade térmica aprimorada, menor volatilidade e melhores características de lubrificação. A seguir, as principais características dos óleos sintéticos:

- **Estabilidade térmica:** Os óleos sintéticos são formulados para suportar temperaturas mais altas sem quebrar. Essa propriedade é crucial em aplicações como motores automotivos e máquinas industriais, onde altas temperaturas operacionais podem levar à degradação de óleos minerais convencionais (Chen et al., 2012; Garrido et al., 2021).
- **Baixa volatilidade:** Geralmente esse tipo de óleo apresenta taxas de evaporação mais baixas em comparação aos óleos minerais. Essa característica ajuda a manter a viscosidade e o desempenho do óleo ao longo do tempo, reduzindo a frequência de trocas de óleo e aumentando a eficiência geral do sistema de lubrificação (Jain, 2024).
- **Propriedades de lubrificação aprimoradas:** Óleos sintéticos geralmente fornecem melhor lubrificação sob condições extremas, como altas cargas e baixas velocidades. Eles podem formar uma película lubrificante mais estável, reduzindo o atrito e o desgaste nas peças móveis (Chen et al., 2012; Garrido et al., 2021). Isso é particularmente benéfico em aplicações onde o equipamento é submetido a condições operacionais severas.
- **Resistência à oxidação:** Esse tipo de óleo são menos propensos à oxidação e degradação térmica, o que pode levar à formação de lodo e verniz em motores e máquinas. Essa resistência contribui para intervalos de serviço mais longos e confiabilidade aprimorada (Karmakar & Ghosh, 2013).
- **Benefícios ambientais:** Muitos óleos sintéticos são projetados para serem mais ecológicos do que os óleos minerais tradicionais. Eles

geralmente têm menor toxicidade e podem ser formulados para serem biodegradáveis, reduzindo seu impacto ambiental (Li et al., 2023).

2.4.4. Lubrificantes alimentícios

Os lubrificantes alimentares são lubrificantes especializados formulados para uso em equipamentos de processamento e manuseio de alimentos. Esses lubrificantes devem atender a rigorosos padrões de segurança e regulatórios para garantir que não contaminem produtos alimentícios. O objetivo principal dos lubrificantes alimentares é fornecer lubrificação, minimizando o risco de contaminação de alimentos e garantindo a conformidade com os regulamentos de saúde. As principais características dos lubrificantes alimentares são:

- **Formulação segura para alimentos:** Os lubrificantes alimentares são normalmente feitos de materiais de qualidade alimentar, incluindo óleos vegetais e compostos sintéticos que não são tóxicos e seguros para contato acidental com alimentos. Esses lubrificantes devem estar em conformidade com os regulamentos definidos por organizações como a *Food and Drug Administration* (FDA) dos EUA e a *European Food Safety Authority* (EFSA) (Woma et al., 2019).
- **Desempenho sob carga:** Os lubrificantes alimentares devem ter um desempenho eficaz sob várias condições de carga. Por exemplo, lubrificantes usados em sistemas transportadores na indústria alimentícia precisam manter suas propriedades lubrificantes sob condições de baixa carga, enquanto aqueles usados em aplicações de alta carga podem exigir formulações específicas que incluem aditivos antidesgaste e antifricção (Torres-Sánchez & Balodimos, 2017).
- **Estabilidade oxidativa:** A estabilidade oxidativa de lubrificantes alimentares é crucial, pois a exposição ao ar e altas temperaturas pode levar à degradação e à formação de subprodutos prejudiciais. Os óleos vegetais, embora renováveis e biodegradáveis, frequentemente enfrentam desafios relacionados à estabilidade oxidativa, que podem ser mitigados por meio do uso de antioxidantes e outros aditivos (Woma et al., 2019).

- **Resistência à água:** Muitos ambientes de processamento de alimentos envolvem exposição à umidade, tornando a resistência à água uma propriedade importante para lubrificantes alimentares. Graxas e óleos que podem repelir água ajudam a prevenir a corrosão e manter a integridade da lubrificação (Khan et al., 2020).
- **Propriedades reológicas:** As características de viscosidade e fluxo dos lubrificantes alimentares são essenciais para garantir a lubrificação adequada em várias aplicações. As graxas devem manter sua consistência sob condições operacionais, enquanto os óleos devem fornecer fluxo adequado em diferentes temperaturas (Wang et al., 2021).

Além disso, também chamados de Food grade, são formulados por bases e aditivos devidamente aprovados conforme o programa de homologação para uso em fábricas de alimentos dirigido pelo USDA. Esses produtos têm seus componentes aprovados pelo órgão americano de administração de remédios e alimentos – FDA na categoria H1, que viabiliza um possível contato do lubrificante com o alimento em processo (De Lima, 2016).

Qualquer lubrificante alimentício deve ostentar no rótulo a marca “NSF ISO 21469”. Esse é o indicativo de que o fluido pode ser usado em equipamentos ligados ao processamento de alimentos, e que é seguro no caso de contato com o produto. A concessão desta certificação é feita por meio da NSF internacional, que designa um profissional para acompanhar e supervisionar todo o processo.

O órgão classifica os lubrificantes em três categorias:

- **H1:** utilizados em locais onde há chance de contato accidental com alimentos. Esses fluidos devem ser compostos apenas por um produto base, aditivos e espessantes (no caso das graxas) listados na 21 CFR 178.3750;
- **H2:** Não há possibilidade de contato com produtos alimentícios. Por conta disso, não há uma lista de substâncias a ser seguida, mas é vetado o uso internacional de metais pesados na composição.
- **H3:** São conhecidos como comestíveis e são, de fato, seguros para o consumo humano. Esses lubrificantes são utilizados para limpar e evitar ferrugem em carrinhos, ganhos e outros componentes do maquinário.

Por fim, os lubrificantes alimentícios são formulados não apenas para atender aos requisitos operacionais, mas também para assegurar a conformidade com normas sanitárias rigorosas, contribuindo para os pilares de governança e responsabilidade social do ESG. Certificações como a ISO 21469 e a categoria H1 da NSF garantem que esses produtos sejam seguros mesmo em caso de contato acidental com alimentos. A adoção desses lubrificantes reforça a rastreabilidade dos insumos, melhora os processos de auditoria e reduz riscos legais e sanitários, promovendo uma governança robusta e transparente na indústria de alimentos e bebidas (Khan et al., 2020).

2.4.4.1. Aplicações de Lubrificantes para Alimentos

Lubrificantes para alimentos são usados em várias aplicações, incluindo:

- **Sistemas Transportadores:** Lubrificantes são aplicados em correias transportadoras e rolos para reduzir o atrito e o desgaste, garantindo uma operação suave em instalações de processamento de alimentos (Torres-Sanchez & Balodimos, 2017).
- **Máquinas:** Lubrificantes de qualidade alimentar são usados em várias máquinas, incluindo misturadores, fatiadores e equipamentos de embalagem, para garantir uma operação confiável e evitar contaminação (Puhan, 2021).
- **Embalagem de alimentos:** Lubrificantes também são utilizados em máquinas de embalagem de alimentos para facilitar a movimentação de materiais de embalagem e garantir a vedação adequada (Soltanahmadi, 2023).

2.5 Causas contaminação

A contaminação de lubrificantes é uma preocupação significativa em várias aplicações industriais e automotivas, pois pode levar à redução do desempenho, aumento do desgaste e, finalmente, à falha do equipamento. Entender as causas da contaminação do lubrificante é essencial para manter a integridade dos sistemas de lubrificação e garantir a longevidade das máquinas. Abaixo estão as principais causas da contaminação do lubrificante, apoiadas pela literatura

relevante.

- **Entrada de água:** A água é um dos contaminantes mais comuns em lubrificantes e sua presença pode levar à degradação severa das propriedades do lubrificante. A água pode entrar nos sistemas de lubrificação por vários meios, incluindo condensação, vazamentos e ambientes úmidos. A presença de água pode promover a hidrólise de aditivos, levando à redução da eficácia da lubrificação e ao aumento da corrosão das superfícies metálicas (Klausen et al., 2020). Além disso, a água pode alterar significativamente as propriedades reológicas dos lubrificantes, afetando seu desempenho sob carga (Cyriac et al., 2016).
- **Partículas sólidas:** Contaminantes sólidos, como poeira, sujeira e resíduos de desgaste de máquinas, podem entrar nos sistemas de lubrificação e comprometer o desempenho do lubrificante. Essas partículas podem causar desgaste abrasivo nas peças móveis, levando ao aumento do atrito e à redução da eficiência (Mahajan & Utpat, 2012). O acúmulo de contaminantes sólidos também pode levar à formação de lodo e verniz, que podem obstruir o fluxo do lubrificante e prejudicar a função dos sistemas de lubrificação (Sunny et al., 2014; Paszkowski, 2023).
- **Contaminação cruzada de combustível e óleo:** Em motores, o combustível pode contaminar o lubrificante devido a vazamentos ou vedação inadequada. A presença de combustível no lubrificante pode alterar significativamente sua viscosidade e propriedades de lubrificação, levando à lubrificação inadequada e ao aumento do desgaste (Ribeiro & Sodré, 2014). Essa contaminação é particularmente problemática em motores a gasolina, onde a diluição do combustível pode ocorrer durante a operação, especialmente em partidas a frio ou quando o motor não está totalmente aquecido (Usman et al., 2014).
- **Contaminantes químicos:** Os contaminantes químicos podem se originar de várias fontes, incluindo a quebra de aditivos lubrificantes e exposição química externa. Por exemplo, produtos de oxidação podem se formar durante a degradação de lubrificantes, levando à criação de ácidos e outros compostos nocivos que podem corroer superfícies metálicas e reduzir a eficácia da lubrificação (Hong & Jang, 2023; Kim et

al., 2012). Além disso, a exposição a produtos químicos agressivos em ambientes industriais pode levar à contaminação de lubrificantes, necessitando de monitoramento e manutenção cuidadosos (Silva et al., 2021).

- **Manuseio e armazenamento inadequados:** O manuseio e armazenamento inadequados de lubrificantes também podem levar à contaminação. Por exemplo, usar recipientes ou ferramentas sujos para transferir lubrificantes pode introduzir partículas estranhas. Além disso, armazenar lubrificantes em ambientes com alta umidade ou flutuações de temperatura pode promover condensação e contaminação (Abioye et al., 2012; Bhosale et al., 2013). É essencial seguir as melhores práticas para armazenamento e manuseio de lubrificantes para minimizar o risco de contaminação.
- **Fatores ambientais:** As condições ambientais, como umidade, temperatura e exposição a contaminantes, podem impactar significativamente a integridade do lubrificante. Por exemplo, lubrificantes usados em aplicações externas podem ser expostos à chuva, poeira e outros fatores ambientais que podem levar à contaminação (Wathi, 2023). Monitoramento e manutenção regulares são necessários para garantir que os lubrificantes permaneçam livres de contaminantes prejudiciais.

2.6 Armazenamento

Quando parte de uma fábrica tem um alto consumo de óleo lubrificante, a escolha do local de armazenamento deve ser próxima a este ponto. Em casos de determinados setores da empresa, precisa-se de lubrificantes específicos, justifica-se a existência de outro local de armazenagem (CEPSA, 2016).

A exposição ao ar/oxigênio, temperatura, luz, água, umidade e outros contaminantes ou separação do óleo, podem alterar as propriedades dos lubrificantes durante o armazenamento. Sendo assim, os lubrificantes devem ser armazenados área fechada, fresca e seca, e nunca deve ser exposto de forma direta à luz solar (Sohn, 2007). Segundo Falk (2015), isso é essencial para executar um eficiente e efetivo programa de lubrificação.

2.7 Quantidade de aplicação

A aplicação excessiva de lubrificantes pode levar a uma série de resultados negativos. Por exemplo, os sistemas tradicionais de lubrificação por inundação geralmente dispensam grandes volumes de lubrificante, o que pode resultar em contaminação ambiental e aumento dos custos operacionais devido ao descarte de resíduos e substituição de fluidos (Sancheti & Yadav, 2022; Keerthana et al., 2019). Além disso, a lubrificação excessiva pode criar uma película que pode interferir no processo de usinagem, levando a acabamentos superficiais ruins e aumento do desgaste da ferramenta devido à incapacidade do lubrificante de penetrar efetivamente na zona de corte (Gürbüz & Gönülaçar, 2020; Fedai, 2023).

Por outro lado, a lubrificação insuficiente pode levar a consequências graves, incluindo aumento do atrito e geração de calor na interface ferramenta-peça de trabalho. Isso pode resultar em desgaste acelerado da ferramenta, integridade da superfície comprometida e, finalmente, eficiência de usinagem reduzida (Rahim & Sasahara, 2011; An et al., 2014). Estudos demonstraram que a lubrificação inadequada pode levar a uma alta taxa de desgaste da ferramenta, particularmente em cenários de usinagem de alta velocidade onde as forças de corte são significativas (Roy & Ghosh, 2014).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia adotada para realizar o estudo de redução do número de lubrificantes utilizados no processo produtivo da fábrica em questão, bem como uma breve descrição das etapas realizadas para levantamento, análise e consolidação dos dados técnicos necessários para o desenvolvimento da proposta estratégica.

3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa “X” é uma multinacional do setor de tabaco, com operações em diversos países e um portfólio de marcas amplamente reconhecidas. Fundada há mais de um século, a companhia concentra suas atividades na fabricação, distribuição e comercialização de produtos relacionados ao tabaco, mantendo uma estrutura global de produção e logística que sustenta sua presença no mercado.

Além de atender à demanda tradicional do setor, a empresa tem direcionado esforços para diversificar suas operações, explorando segmentos que acompanham as transformações do mercado. Com foco em eficiência operacional, ela busca alinhar suas práticas às regulamentações locais e internacionais, mantendo a competitividade em um ambiente dinâmico e desafiador.

Dentro da fábrica, os equipamentos utilizados são provenientes de três fabricantes originais (OEMs): GD (Itália), Hauni/Körber Solutions (Alemanha) e FOCKE&CO (Alemanha). A GD é amplamente reconhecida pelo desenvolvimento de máquinas de filtros, cigarros, encarteiradoras e peças automotivas. A Hauni, atualmente em processo de transição para a Körber Solutions, fabrica máquinas de filtros e cigarros e recentemente expandiu sua atuação para a produção de canudos de papel. A FOCKE&CO, com origem na Primeira Guerra Mundial, iniciou suas operações na fabricação de tanques e veículos, consolidando-se posteriormente como fornecedora de equipamentos industriais de alto desempenho.

3.2. ETAPAS DA IMPLEMENTAÇÃO

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, e as ações desenvolvidas estão descritas a seguir na Empresa X:

- **Identificação dos Lubrificantes Cadastrados:** identificar todos os lubrificantes registrados no sistema da fábrica. Durante este levantamento, foram analisadas as áreas e as aplicações de cada lubrificante. Como resultado, foram identificados oito lubrificantes sem histórico de consumo, os quais foram imediatamente sinalizados e removidos da base de dados. Esses itens foram destacados em vermelho para facilitar a análise posterior;
- **Classificação e análise técnica dos lubrificantes:** Para facilitar a análise, os lubrificantes foram categorizados em duas tabelas separadas: uma para graxas e outra para óleos. As informações técnicas, como viscosidade e nomenclaturas, foram extraídas das fichas técnicas dos produtos. Com base nesses dados, foram identificadas similaridades técnicas que permitiram sugerir substituições viáveis, reduzindo a variedade de produtos utilizados.. Além disso, considerou-se a norma ISO, que divide os óleos industriais em 18 grupos de viscosidade (ISO-VG) baseados na temperatura de 40 °C. Essa análise foi direcionada para selecionar os óleos mais adequados para as condições tropicais da fábrica, priorizando a classe ISO VG 68, conforme recomendado para ambientes com alta temperatura ambiente. As etapas de análise técnica também levaram em conta os impactos ambientais, a segurança dos operadores na aplicação dos lubrificantes e a rastreabilidade operacional, atendendo assim aos princípios de ESG.
- **Contato com fabricantes de equipamentos originais (OEMs):** Como parte do estudo, buscou-se contato com os OEMs (*Original Equipment Manufacturers*) dos equipamentos instalados na fábrica, incluindo as empresas GD (Itália), Hauni/Körber Solutions (Alemanha) e FOCKE&CO (Alemanha). Apesar das tentativas via e-mail, não houve retorno técnico por parte das empresas, pois os contatos iniciais geralmente envolvem suporte comercial e não dúvidas técnicas sem vínculos diretos com

compras;

- **Consultas com fornecedores locais de lubrificantes:** Na sequência, foram realizados contatos com dois fornecedores nacionais de lubrificantes, Abecom e Pacalub. Ambos os fornecedores demonstraram disposição para colaborar tecnicamente, porém condicionaram suas conclusões ao estabelecimento de uma parceria formal com a empresa representada, o que não era viável no momento devido à ausência de um contrato vigente;
- **Análise gráfica e estudos de viabilidade:** Com base nos dados levantados, gráficos foram elaborados para auxiliar na visualização das possibilidades de substituição e consolidação de lubrificantes. Estes gráficos foram utilizados para apoiar a tomada de decisão sobre a viabilidade técnica e operacional das mudanças propostas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir do levantamento e análise dos lubrificantes cadastrados na fábrica, bem como as discussões fundamentadas nas observações realizadas ao longo do estudo. A sistematização dos dados permitiu identificar oportunidades de redução e substituição de lubrificantes, com o objetivo de otimizar o catálogo utilizado, reduzir custos e promover a eficiência operacional. A seguir, são detalhados os principais achados e as análises realizadas para sustentar as proposições apresentadas.

4.1. Levantamento dos lubrificantes

A pesquisa identificou todos os lubrificantes cadastrados na fábrica, detalhando suas justificativas para utilização. Durante o levantamento inicial, foi observado que 8 lubrificantes cadastrados não apresentavam histórico de consumo. Esses itens foram sinalizados em vermelho e posteriormente removidos da base de dados, simplificando o inventário e reduzindo a complexidade de gestão de estoques.

Tabela 1. Levantamento de lubrificantes na empresa X.

Descrição	Utilizado? (S/N)	Motivo da utilização
AUTO CLEANING SPRAY DESINGRIPANTE 300ML	S	LIMPEZA
GRAXA ALIPLEX EX 2 (1 KG)	N	SEM HISTÓRICO
GRAXA CENTOPLEX 4/375 KLUBER	S	SMD FOCKE
GRAXA KLUBER ALTEMP Q NB 50/ LATA 750 GR	N	NFG 02 SEM HISTÓRICO
GRAXA KLUBER STABARAGS NBU12	S	SMD/FMD
GRAXA KLÜBER SYNTH UH-1-14-1600	N	NFG 07 SEM HISTÓRICO
GRAXA KLUBER SYNTH GE 46 1200	N	NFG 04 SEM HISTÓRICO
GRAXA MOBIL POLIREX EM (16 KG)	S	NFG 11 2 PONTOS LUB
GRAXA MOBIL UNIREX N2 (16 KG)	S	NFG 17 2 PONTOS LUB
GRAXA MOBIL UNIREX N3 (16 KG)	S	NFG 18 2 PONTOS LUB
GRAXA OPITMOL LONGTIME PD2	S	MAKER SMD
GRAXA SKF LGMT 3AL/1- BD 1KG	N	SEM HISTÓRICO
GRAXA VERKOFOOD WR-2(EMBALAGEM 2KG)	S	PMD
GRAXA VERKOMAX SG.2 BALDE 18KG	S	ENG
GRAXAZUL PLEX	S	ENG

OLEO MOBIL DTE 24 ULTRA	N	SEM HISTÓRICO
OLEO MOBIL DTE 25 ULTRA	S	ENG
OLEO MOBIL DTE 26 ULTRA	S	ENG
OLEO MOBIL DTE HEAVY MEDIUM	N	SEM HISTÓRICO
OLEO MOBIL NUTO H-68	S	ENG
OLEO MOBILGEAR 600 XP 150	S	SMD
OLEO MOBILGEAR 600 XP 220	S	SMD
OLEO MOBILGEAR 600 XP 320 - MOBIL	S	SMD
OLEO MOBILGEAR 600 XP 680	S	H1000
OLEO PNEUMAX S10	S	SEM HISTÓRICO
OLEO SINTETICO VS150	S	NFO 01 ENG
SILISKID AEROSOL ANTI-ADERENTE	S	SMD

Os lubrificantes foram classificados em duas categorias principais: graxas e óleos. Para as graxas, foi realizada uma análise comparativa das propriedades técnicas, como o grau NLGI, ponto de gota, faixa de trabalho e aditivos. A Tabela 2 apresenta os dados obtidos:

Tabela 2. Levantamento de graxas na empresa X.

Graxa	NLGI	Ponto de gota	Faixa Trabalho (°C)	Aditivo
CENTOPLEX CX 4/375	0	>150 °C	-30 e 120°C	Lítio
NBU12	2	>220 °C	-30 e 140°C	Bálio
LONGTIME PD2	2	>180 °C	35 e 140°C	Lítio
GRAXAZUL PLEX	2	250 °C	-5 e 200°C	Lítio
Polyrex EM	2	260 °C	Não encontrado	Lítio
Unirex N2	2	230 °C	Não encontrado	Lítio
Unirex N3	3	230 °C	Não encontrado	Lítio
™VERKOMAX FGM-2	2	>300 °C	-40 e 130°C	Não encontrado
™VERKOFOOD WR - 2	2	270 °C	-40 e 130°C	Não encontrado
SKF LGMT 3AL/1	3	>180 °C	-30 e 120°C	Lítio
KLUBER SYNTH GE 46 1200	00	> 200 °C	-30 e 120°C	Alumínio
KLÜBER SYNTH UH-1-14-1600	00	>= 200 °C	-45 e 120°C	Alumínio

As graxas de lítio demonstraram vantagens significativas em termos de estabilidade, compatibilidade, custos e impacto ambiental em comparação com graxas de bálio. Como resultado, a graxa LONGTIME PD2, devido à sua alta eficiência e benefícios ecológicos, foi indicada como a principal substituta para

aplicações generalizadas.

As graxas alimentícias foram analisadas com base no grau NLGI e ponto de gota. Optou-se por padronizar a utilização da graxa TMVERKOMAX FGM-2, que atende às demandas do setor Primário, com melhores características técnicas em relação às alternativas.

Graxas sem histórico de consumo ou que não atendem às especificações técnicas foram removidas, como a graxa SKF LGMT 3AL/1, cujas características não são compatíveis com o maquinário da fábrica. Para os óleos, a análise baseou-se nos grupos de viscosidade ISO-VG.

A Tabela 3 resume as especificações e locais de utilização

Tabela 3. Levantamento de óleos na empresa X.

Descrição	ISO	Local da utilização
OLEO MOBIL DTE 25 ULTRA	46	ENG
OLEO MOBIL DTE 26 ULTRA	68	ENG
OLEO MOBIL NUTO H-68	68	ENG
OLEO MOBILGEAR 600 XP 150	150	SMD
OLEO MOBILGEAR 600 XP 220	220	SMD
OLEO MOBILGEAR 600 XP 320	320	SMD
OLEO MOBILGEAR 600 XP 680	680	H1000

Observou-se que os óleos MOBIL DTE 25 ULTRA, MOBIL DTE 26 ULTRA, e NUTO H-68 apresentam similaridades nas características técnicas, especialmente no grau de viscosidade ISO 68. Dada sua formulação moderna e desempenho superior, o óleo NUTO H-68 foi selecionado como substituto para as demais opções.

A escolha do ISO VG 68 foi justificada pelas condições climáticas da fábrica, localizada em uma região de clima tropical, utilizando a Fig. 2 da seção 2.4.1.1. Segundo a norma ISO, óleos do grupo de viscosidade VG 68 são recomendados para ambientes tropicais devido à sua capacidade de suportar temperaturas ambientais elevadas sem comprometer a eficiência da lubrificação. Essa característica é crucial para o funcionamento seguro e eficiente dos equipamentos expostos ao calor intenso, especialmente em ambientes abertos.

4.1. Contato com Fabricantes

O levantamento inicial identificou todos os lubrificantes cadastrados na fábrica, mapeando suas áreas de aplicação e justificativas de uso. Como primeira iniciativa, foi realizado contato com os OEMs instalados na fábrica, mencionadas na seção 3.1.

Infelizmente, os esforços para obter informações técnicas diretamente dos OEMs não foram exitosos. O contato inicial, realizado via e-mail com o suporte comercial, não evoluiu para a comunicação com a equipe técnica, que geralmente não fornece informações sem uma relação comercial ativa relacionada à compra de peças.

Em seguida, foram contatados dois fornecedores locais de lubrificantes, Abecom e Pacalub. Embora as interações com as representantes nacionais tenham sido positivas, ambas condicionaram o suporte técnico à existência de contrato formal, o que inviabilizou a continuidade da parceria.

4.3. Análise das graxas

A análise das graxas focou na comparação das propriedades técnicas e operacionais, visando à redução e padronização dos produtos utilizados.

- **KLUBER SYNTH GE 46 1200** e **CENTOPLEX CX 4/375** possuem graus NLGI próximos. Com base no histórico de consumo e desempenho na fábrica, optou-se pela **CENTOPLEX CX 4/375**, adequada para pequenas engrenagens sujeitas a altas velocidades, especialmente engrenagens cônicas. No entanto, considera-se a possibilidade de eliminar seu uso, mediante testes comparativos adicionais e estudos laboratoriais com outras graxas.
- A graxa **SKF LGMT 3AL/1** foi identificada como inadequada para as máquinas de cigarros, pois é destinada a aplicações com altas temperaturas contínuas, como equipamentos agrícolas, rolamentos de veículos automotivos e grandes motores elétricos. Dada a ausência de histórico de consumo e a incompatibilidade com as especificações dos equipamentos, foi proposta sua exclusão da lista de lubrificantes.

No que tange às graxas :

- **TMVERKOMAX FGM-2** e **TMVERKOFOOD WR-2** possuem o mesmo grau NLGI. Optou-se por padronizar o uso da **TMVERKOMAX FGM-2**, devido ao seu maior ponto de gota, oferecendo melhor desempenho em temperaturas elevadas.
- A **graxa KLÜBER SYNTH UH-1-14-1600**, embora indicada para indústrias alimentícias e farmacêuticas, não é essencial na fábrica de cigarros, pois o único ponto que requer lubrificação com graxa alimentícia é no setor Primário, onde o maquinário é robusto e o grau NLGI 2 atende adequadamente.

Para o grupo de graxas **Polyrex**, **Unirex** e **Graxazul Plex**, observou-se que todas possuem graus NLGI 2 ou 3:

- **UNIREX N2** (NLGI 2) é recomendada para motores elétricos.
- **UNIREX N3** (NLGI 3) é usada em aplicações especiais, como rolamentos com lubrificação permanente, montagens verticais e mancais de alta velocidade.
- **POLYREX EM** possui ampla aplicação, atendendo a motores elétricos e rolamentos em alta velocidade. Devido à sua versatilidade e potencial para reduzir o número de lubrificantes em estoque, foi escolhida como substituta das demais graxas deste grupo.

Em relação à **NBU12**, reconhecida por sua eficiência em rolamentos de média velocidade expostos à umidade, e à **LONGTIME PD2**, que proporciona redução de custos de manutenção e maior vida útil das peças devido ao baixo coeficiente de fricção, a análise privilegiou a escolha de graxas à base de lítio.

As graxas lubrificantes de **lítio** apresentam diversas vantagens em relação às de **bário**:

- **Estabilidade:** Melhor estabilidade térmica e oxidativa, suportando temperaturas mais altas sem degradação.
- **Compatibilidade:** Maior flexibilidade na formulação, atendendo a requisitos específicos de desempenho.

- **Custos:** O lítio é mais acessível e econômico, tornando as graxas mais viáveis economicamente.
- **Meio Ambiente:** Menos tóxicas e prejudiciais, alinhando-se às preocupações ambientais e de segurança.

Dante desses fatores e considerando o compromisso ambiental da fábrica, optou-se por manter o lubrificante à base de lítio, especificamente a **graxa LONGTIME PD2**.

4.4. Análise dos Óleos

Na análise dos óleos, observou-se que os tipos MOBIL DTE 25 ULTRA, MOBIL DTE 26 ULTRA e NUTO H-68 possuem o mesmo grau de viscosidade ISO e índices de viscosidade próximos. Dada a formulação moderna e características aprimoradas, o óleo NUTO H-68 foi selecionado para continuidade de uso. O óleo NUTO H-68 oferece vantagens como:

- **Redução do desgaste e corrosão**, especialmente na presença de água ou umidade.
- **Resistência à oxidação** e estabilidade química, prolongando os intervalos entre trocas de óleo e filtros.
- **Propriedades antidesgaste**, resultando em desempenho excepcional dos equipamentos, menor incidência de falhas e aumento da produtividade.

Adicionalmente, os óleos com viscosidade ISO 150 e ISO 220 foram mantidos devido à sua ampla utilização na fábrica de Uberlândia e em outras unidades globais, seguindo as recomendações dos fabricantes. As máquinas que utilizam esses óleos operam em condições de temperatura e velocidade que requerem tais especificações, garantindo o funcionamento adequado dos sistemas de acionamento.

4.5. Eficiência de armazenamento e ganhos financeiros

A implementação deste projeto apresenta um potencial significativo de economia e eficiência operacional. Estima-se um ganho financeiro de

aproximadamente 30 % na redução de custos, decorrente da consolidação e padronização dos lubrificantes utilizados. Além disso, a reorganização e a eliminação de itens redundantes ou sem histórico de consumo possibilitam um ganho de até 50 % no espaço de armazenamento, promovendo uma gestão de estoque mais eficiente.

A proposta reduz o número de lubrificantes cadastrados de 11 óleos para 4 e de 14 graxas para 4, de acordo com o grau NLGI e as condições operacionais da fábrica. Essa redução racionaliza o gerenciamento do inventário, minimizando a complexidade e otimizando o controle de estoque.

Para essa estimativa, não foram consideradas possíveis perdas associadas a fatores como contaminação dos lubrificantes ou vencimento de validade, o que sugere que o potencial de economia pode ser ainda maior em cenários futuros. A análise foi baseada no custo atual do estoque de lubrificantes, mantendo como referência o volume consumido no último mês, o que reforça a viabilidade econômica e estratégica da proposta.

Esses ganhos financeiros e logísticos não apenas reduzem os custos diretos, mas também fortalecem o compromisso da fábrica com práticas sustentáveis e eficientes.

Durante o desenvolvimento do trabalho, não foi possível obter informações precisas, pois esses valores são considerados sigilosos por cada empresa. O preço pode variar de acordo com fornecedores, contratos e especificidades do produto, sendo uma informação estratégica e restrita ao ambiente corporativo.

4.6. Proposta de Substituição e Padronização de Lubrificantes

A Tabela 4 apresenta as substituições de lubrificantes propostas com base na análise técnica realizada ao longo do estudo. O processo de definição envolveu a avaliação das propriedades dos produtos, suas aplicações e recomendações de fabricantes, bem como as normas técnicas relacionadas.

Tabela 4. Substituições de lubrificantes definida pelo estudo.

Descrição	Substituto	Motivo
GRAXA CENTOPLEX 4/375 KLUBER	Não alterado	Não alterado
GRAXA KLUBER STABARAGS NBU12	Não alterado	Não alterado
GRAXA OPITMOL LONGTIME PD2	Não alterado	Não alterado
GRAXA VERKOMAX SG.2	Não alterado	Não alterado
OLEO MOBIL NUTO H-68	Não alterado	Não alterado
OLEO MOBILGEAR 600 XP 150	Não alterado	Não alterado
OLEO MOBILGEAR 600 XP 220	Não alterado	Não alterado
OLEO MOBILGEAR 600 XP 680	Não alterado	Não alterado
GRAXA KLUBER ALTEMP Q NB 50	NBU12 ou LONGTIME PD2	Recomendação de acordo com grau NGLI
GRAXA MOBIL POLIREX EM	OLEO MOBIL NUTO H-68	Recomendação fabricante PACALUB
OLEO MOBIL DTE 24 ULTRA	OLEO MOBIL NUTO H-68	Recomendação fabricante PACALUB
OLEO MOBIL DTE 25 ULTRA	OLEO MOBIL NUTO H-68	Recomendação fabricante PACALUB
OLEO MOBIL DTE 26 ULTRA	OLEO MOBIL NUTO H-68	Recomendação fabricante PACALUB
OLEO MOBIL DTE HEAVY MEDIUM	OLEO MOBIL NUTO H-68	Recomendação fabricante PACALUB
OLEO PNEUMAX S10	OLEO MOBILGEAR 600 XP 150	Recomendação fabricante GD
OLEO SINTETICO VS150	OLEO MOBILGEAR 600 XP 150	Recomendação fabricante GD
OLEO MOBILGEAR 600 XP 320	OLEO MOBILGEAR 600 XP 320	Devido à falta de equipamento que utiliza esse lubrificante (apenas H1000)
GRAXA ALIPLEX EX 2	POLYREX EM	Recomendação fabricante PACALUB
GRAXA KLÜBER SYNTH UH-1-14-1600	POLYREX EM	Recomendação fabricante PACALUB
GRAXA KLUBER SYNTH GE 46 1200	POLYREX EM	Recomendação fabricante PACALUB
GRAXA MOBIL UNIREX N2	POLYREX EM	recomendação fabricante PACALUB
GRAXA MOBIL UNIREX N3	POLYREX EM	Recomendação fabricante PACALUB
GRAXA SKF LGMT 3AL/1	POLYREX EM	Recomendação fabricante PACALUB
GRAXAZUL PLEX	POLYREX EM	Recomendação fabricante PACALUB
GRAXA VERKOFOOD WR-2	VERKOMAX SG.2	Recomendação de acordo com grau NGLI

Os itens indicados como "não alterados" representam lubrificantes cuja performance foi considerada ideal para suas respectivas aplicações, sem

necessidade de substituição.

Para os produtos com propostas de substituição, as recomendações foram embasadas em critérios como grau NLGI, especificações normativas, recomendações de fabricantes como PACALUB e GD, e compatibilidade com os equipamentos em uso na fábrica. Destaca-se, por exemplo, a substituição de diversas graxas e óleos por opções mais versáteis, como o óleo MOBIL NUTO H-68 e a graxa POLYREX EM, que apresentam características adequadas para atender a uma ampla gama de aplicações industriais.

Além de atender aos requisitos operacionais, essas substituições visam padronizar o catálogo de lubrificantes, reduzindo a variedade de produtos e otimizando o gerenciamento de estoque, sem comprometer a eficiência dos processos e a proteção dos equipamentos. A adoção das mudanças sugeridas pode contribuir significativamente para o aumento da eficiência operacional, redução de custos e alinhamento às boas práticas de manutenção industrial.

4.6. Benefícios ambientais, sociais e de governança (ESG)

Além dos ganhos operacionais e financeiros já discutidos, a proposta de redução e padronização do número de lubrificantes utilizados na fábrica também apresenta impactos positivos alinhados aos princípios de ESG, cada vez mais valorizados no setor industrial.

No pilar **ambiental**, a diminuição da variedade de lubrificantes reduz o risco de contaminações cruzadas e facilita o descarte responsável de resíduos, contribuindo para a mitigação de impactos ao solo e à água. A escolha por lubrificantes mais estáveis e modernos, com melhor desempenho em altas temperaturas, também reduz a necessidade de trocas frequentes e minimiza o consumo total de produtos químicos.

No aspecto **social**, a padronização e a eliminação de produtos com menor compatibilidade operacional reduzem a exposição dos trabalhadores a substâncias potencialmente perigosas, simplificando os procedimentos de manuseio e aplicação dos lubrificantes. Isso impacta diretamente a segurança do trabalho e reduz a margem de erro em processos de manutenção.

Quanto à **governança**, a proposta contribui para o fortalecimento da rastreabilidade dos insumos e para a padronização de procedimentos técnicos,

o que facilita auditorias internas e externas, além de permitir maior controle sobre o estoque e as rotinas de abastecimento. Dessa forma, a racionalização dos lubrificantes representa não apenas um avanço técnico e econômico, mas também uma ação estratégica em conformidade com práticas industriais sustentáveis e responsáveis.

4.7 Projeções de organização

Assim que o projeto for implementado, será adotada uma proposta de organização para o processo operacional de aplicação de lubrificantes, definindo-se uma cor padrão para cada tipo de lubrificante, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 4. Projeção de organização dos lubrificantes (Autoria própria, 2025).

5. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo realizar um levantamento sobre a possibilidade de redução e substituição de lubrificantes em algumas aplicações, além de avaliar a viabilidade de eliminar diferentes marcas de lubrificantes com especificações equivalentes. Durante a análise, identificou-se inicialmente a oportunidade de retirar 8 tipos de lubrificantes devido à ausência de histórico de utilização. Ainda assim, foi realizada uma análise aprofundada para avaliar a possibilidade de substituições entre os produtos.

No que se refere às graxas, este foi o ponto de maior impacto, considerando que havia uma vasta quantidade de produtos provenientes de diferentes fabricantes, sendo que apenas um deles atendia às necessidades específicas das aplicações. Para essa redução, foram utilizados conceitos normativos dos próprios lubrificantes, informações fornecidas pelos fabricantes e dados extraídos de catálogos das máquinas utilizadas na empresa. Como resultado, o número de graxas foi reduzido de 14 para 4, com base no grau NLGI.

Em relação aos óleos, a análise seguiu os mesmos critérios técnicos e foi fundamentada na norma internacional ISO. O número de óleos foi reduzido de 11 para 4, atendendo aos requisitos de viscosidade e desempenho operacional. Essa simplificação do catálogo de lubrificantes, reduzindo o total de 25 para 8 produtos, revelou-se uma estratégia significativa para otimizar operações, reduzir custos e promover eficiência.

Além da simplificação da gestão de estoque e operações de manutenção, a redução do número de lubrificantes resultou em benefícios tangíveis, como economia de recursos financeiros e ambientais. A consolidação permitiu alcançar maior padronização nos processos e proporcionou aos funcionários uma melhor compreensão e aplicação dos lubrificantes.

A redução do catálogo também impactou positivamente os custos operacionais, diminuindo os gastos relacionados à aquisição, armazenamento e descarte de produtos. Com uma menor variedade de lubrificantes, a empresa pode negociar volumes maiores e obter descontos por compras em maior escala, enquanto a redução na complexidade do estoque minimiza o risco de obsolescência e desperdício.

No entanto, é fundamental que a redução seja acompanhada de uma seleção criteriosa dos lubrificantes, garantindo que atendam às necessidades operacionais e ambientais da empresa. Recomenda-se a avaliação contínua do desempenho e da adequação dos produtos selecionados para assegurar que os benefícios da simplificação do catálogo sejam sustentados a longo prazo.

Por fim, a redução do número de lubrificantes cadastrados de 25 para 8 configura-se como uma estratégia eficaz, capaz de promover maior eficiência operacional, significativa redução de custos e avanços em sustentabilidade.

Essa iniciativa posiciona a empresa de maneira favorável para um desempenho otimizado, ao mesmo tempo que contribui para um impacto ambiental positivo, alinhando-se às melhores práticas de gestão e responsabilidade corporativa.

Apesar dos resultados positivos alcançados com a análise técnica e a proposta de padronização dos lubrificantes, o estudo apresenta algumas limitações importantes. A ausência de testes práticos em campo impede a validação experimental direta da substituição proposta, sendo recomendável que futuras implementações incluam análises laboratoriais de desempenho, desgaste e vida útil dos componentes com os lubrificantes selecionados. Além disso, a dificuldade de obtenção de respostas técnicas por parte dos OEMs limitou o respaldo técnico direto de alguns equipamentos quanto à troca de lubrificantes. Embora os dados utilizados estejam embasados em normas internacionais e fichas técnicas dos produtos, o envolvimento direto dos OEMs e testes em operação real aumentariam a robustez das conclusões.

Por fim, destaca-se que a proposta contribui para o avanço das práticas sustentáveis na indústria, em consonância com os pilares de ESG. A redução do número de lubrificantes não apenas simplifica a operação, mas também apoia a preservação ambiental, promove maior segurança nas atividades de manutenção e fortalece os mecanismos internos de controle e governança. Assim, o projeto vai além de uma simples otimização técnica, representando um passo importante rumo à excelência operacional com responsabilidade socioambiental.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se investigar a viabilidade de adoção de lubrificantes biodegradáveis ou de base biológica, com foco em ampliar os esforços de sustentabilidade ambiental, para atender ESG mais profundamente. Outra linha de pesquisa poderia explorar a automação no monitoramento e controle de lubrificantes, utilizando tecnologias como sensores IoT para identificar, em tempo real, oportunidades de otimização e prevenção de falhas. Por fim, a realização de estudos de benchmarking com outras indústrias do setor poderia contribuir para a identificação de boas práticas e soluções inovadoras na gestão de lubrificantes.

REFERÊNCIAS

- Abioye, O. P., Agamuthu, P., & Aziz, A. (2012). Biodegradation of used motor oil in soil using organic waste amendments. *Biotechnology Research International*, 2012, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2012/587041>
- Aiman, Y.; Syahrullail, S.; Kameil, A. H. (2023). Tribological in metal forming process and the use of bio lubricant as metal forming lubricant: a review. *Jurnal Teknologi*, 86(1), 95-114. <https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v86.20444>
- An, Q., Liu, Z., Jiang, L., & Chen, M. (2014). Experimental and numerical research on the effects of minimum quantity lubrication in thread turning of free-cutting steel aisi 1215. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 229(5), 878-885. <https://doi.org/10.1177/0954405414534429>
- Armylisas, A. H. N., Fauzi, S. H. M., Mohd, N. K., Yeong, S. K., Idris, Z., & Azwadi, C. S. N. (2019). Excellent properties of dimer fatty acid esters as biolubricant produced by catalyst- and solvent-free esterification. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(11). <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900228>
- Bhosale, A., Joshi, K., Karadkar, T., Mangidkar, K., & Mundhe, P. (2013). Analysis of lubricating oil deterioration in four-wheeler. *Applied Mechanics and Materials*, 446-447, 558-561. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.446-447.558>
- Bonnick, A., & Newbold, D. (2011). *A practical approach to motor vehicle engineering and maintenance* (3rd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780080969992>
- Bosman, R. and Lught, P. M. (2018). The microstructure of calcium sulfonate complex lubricating grease and its change in the presence of water. *Tribology Transactions*, 61(5), 842-849. <https://doi.org/10.1080/10402004.2018.1431752>
- CEPSA. PORTUGUESA PETRÓLEOS, S.A. Armazenagem e Manuseio de Lubrificantes. s.l. : Divisão de Lubrificantes - Assistência Técnica. Disponível em: < www.cosimpor.pt/downloads/file23_pt.pdf>. Acesso em

- 08 de Nov. de 2024.
- Chen, L., Sharifzadeh, M., Dowell, N., Welton, T., Shah, N., & Hallett, J. (2014). Inexpensive ionic liquids: $[\text{HSO}_4^-]$ -based solvent production at bulk scale. *Green Chemistry*, 16(6), 3098-3106. <https://doi.org/10.1039/c4gc00016a>
- Chen, Z. J., Feng, L. L., Li, B. L., Yue, J. J., Wu, Y. L., & Dai, Z. N. (2012). Study on the safety of mineral and synthetic oil added commonly used extreme pressure additives. *Advanced Materials Research*, 430-432, 1386-1389. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.430-432.1386>
- Cyriac, F., Lugt, P. M., & Bosman, R. (2016). Impact of water on the rheology of lubricating greases. *Tribology Transactions*, 59(4), 679-689. <https://doi.org/10.1080/10402004.2015.1107929>
- Deuster, S. and Schmitz, K. (2021). Bio-based hydraulic fluids and the influence of hydraulic oil viscosity on the efficiency of mobile machinery. *Sustainability*, 13(14), 7570. <https://doi.org/10.3390/su13147570>
- De Lima, K. F. Automação do Sistema de Lubrificação dos Exoulosores da M'quina Formax (2016). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13688/1/MD_COMIN_2016_2_14.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.
- Delgado, M., Valencia, C., Sánchez, M. M., Franco, J., & Gallegos, C. (2006). Influence of soap concentration and oil viscosity on the rheology and microstructure of lubricating greases. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45(6), 1902-1910. <https://doi.org/10.1021/ie050826f>
- Donnet, C. and Erdemir, A. (2004). Historical developments and new trends in tribological and solid lubricant coatings. *Surface and Coatings Technology*, 180-181, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2003.10.022>
- Dube, N. N., Noby, H., Nassef, M. G., Zkria, A., Naragino, H., & El Kady, M. F. (2023). Extraction of bio-based carbon materials from agricultural waste as additives for the development of an eco-friendly bio-based grease. *Materials Science Forum*, 1111, 97-103. <https://doi.org/10.4028/p-1vgbqt>
- El-hoshoudy, A. (2014). Mathematical correlation predicting stock tank oil density for egyptian crude oils at standard conditions. *International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering*, 2(4), 55.

- <https://doi.org/10.11648/j.ogce.20140204.11>
- Falk, M. The Mystery of Industrial Lubricants. Industrial Maintenance & Plant Operation. April, 2015. Disponível em: <<https://www.impomag.com/article/2015/04/mystery-industrial-lubricants>>. Acesso em: 28 de Out. de 2024.
- Fedai, Y. (2023). Exploring the impact of the turning of aisi 4340 steel on tool wear, surface roughness, sound intensity, and power consumption under dry, mql, and nano-mql conditions. *Lubricants*, 11(10), 442. <https://doi.org/10.3390/lubricants11100442>
- Fleischer, J., Spohrer, A., Leberle, U., & Dosch, S. (2015). Adaptive and adequate lubrication for highest component-lifetimes in feed drive axes with ball screws. *Procedia Cirp*, 29, 335-340. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.070>
- Garrido, D. S., Leventini, S., & Martini, A. (2021). Effect of temperature and surface roughness on the tribological behavior of electric motor greases for hybrid bearing materials. *Lubricants*, 9(6), 59. <https://doi.org/10.3390/lubricants9060059>
- Gokarn, N. (2023). Role of lubricants in industry: a review. *Journal of Isas*, 2(1), 69-83. <https://doi.org/10.59143/isas.jisas.2.1.wfjr9779>
- Gurt, A. and Khonsari, M. M. (2020). An overview of grease water resistance. *Lubricants*, 8(9), 86. <https://doi.org/10.3390/lubricants8090086>
- Gürbüz, H. and Gönülaçar, Y. E. (2020). Optimization and evaluation of dry and minimum quantity lubricating methods on machinability of aisi 4140 using taguchi design and anova. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 235(7), 1211-1227. <https://doi.org/10.1177/0954406220939609>
- Hong, S. and Jang, E. (2023). Varnish formation and removal in lubrication systems: a review. *Materials*, 16(10), 3737. <https://doi.org/10.3390/ma16103737>
- Hu, J., Han, Y., Zhang, E., Liu, W., Wang, J., & Wang, X. (2022). Study on the effect of mechanical shearing on the microstructure and performance of lithium complex grease.. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1663560/v1>
- Jain, A., Soni, S., Vashishtha, N., & Shekhawat, D. (2024). Impact of grease physical properties on the friction torque and service life of wheel bearings.

- Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 238(8), 929-942.
<https://doi.org/10.1177/13506501241240020>
- Jason, Y., How, H., Teoh, Y., & Chuah, H. (2020). A study on the tribological performance of nanolubricants. Processes, 8(11), 1372.
<https://doi.org/10.3390/pr8111372>
- Johns-Rahnejat, P., Karami, G., Aini, R., & Rahnejat, H. (2021). Fundamentals and advances in elastohydrodynamics: the role of ramsey gohar. Lubricants, 9(12), 120. <https://doi.org/10.3390/lubricants9120120>
- Joysula, S. K., Dube, A., Patro, D., & Veeragowda, D. H. (2021). On the fictitious grease lubrication performance in a four-ball tester. Lubricants, 9(3), 33. <https://doi.org/10.3390/lubricants9030033>
- Karmakar, G. and Ghosh, P. (2013). Green additives for lubricating oil. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 1(11), 1364-1370.
<https://doi.org/10.1021/sc400181q>
- Kanher, P. (2017). Lubricants in pharmaceutical solid dosage forms with special emphasis on magnesium stearate. World Journal of Pharmaceutical Research, 131-146. <https://doi.org/10.20959/wjpr20179-9170>
- Khan, A., Sharma, O. P., & Khatri, O. P. (2020). Ionic liquids-based aqueous lubricants: emulsion stability to enhancement of surface wettability and tribological properties. Industrial & Engineering Chemistry Research, 60(1), 333-342. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c05046>
- Klausen, A., Kalaoja, J., Kandukuri, S. T., & Robbersmyr, K. G. (2020). Sensitivity analysis of online oil quality monitoring for early detection of water ingress in marine propulsion systems. PHM Society European Conference, 5(1), 10. <https://doi.org/10.36001/phme.2020.v5i1.1268>
- Keerthana, B., Kumar, G. V., & Babu, K. A. (2019). Effect of minimum quantity lubrication on surface roughness and temperature in milling of en31 steel for die making. Strojnícky Časopis - Journal of Mechanical Engineering, 69(1), 61-68. <https://doi.org/10.2478/scjme-2019-0005>
- Kemp, V., McDonald, A., Brock, F., & Shortland, A. (2019). La-icp-ms analysis of late bronze age blue glass beads from gurob, egypt. Archaeometry, 62(1), 42-53. <https://doi.org/10.1111/arcm.12501>
- Kılıçay, K. and Ulutan, M. (2016). Investigation of the solid lubrication effect of

- commercial boron-based compounds in end milling. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 17(4), 517-524. <https://doi.org/10.1007/s12541-016-0065-1>
- Kim, J. and Rothstein, J. P. (2016). Droplet impact dynamics on lubricant-infused superhydrophobic surfaces: the role of viscosity ratio. *Langmuir*, 32(40), 10166-10176. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b01994>
- Kim, P., Wong, T. S., Alvarenga, J., Kreder, M. J., Adorno-Martinez, W. E., & Aizenberg, J. (2012). Liquid-infused nanostructured surfaces with extreme anti-ice and anti-frost performance. *ACS Nano*, 6(8), 6569-6577. <https://doi.org/10.1021/nn302310q>
- Kozdrach, R. (2020). The influence of montmorillonite content on change the physicochemical properties of lubricating greases produced from vegetable base oil. *Nafta-Gaz*, 76(4), 270-278. <https://doi.org/10.18668/ng.2020.04.06>
- Jason, Y., How, H., Teoh, Y., & Chuah, H. (2020). A study on the tribological performance of nanolubricants. *Processes*, 8(11), 1372. <https://doi.org/10.3390/pr8111372>
- Li, J. and Wu, Y. (2014). Lubricants in pharmaceutical solid dosage forms. *Lubricants*, 2(1), 21-43. <https://doi.org/10.3390/lubricants2010021>
- Li, Y., Zhou, W., Xue, W., Huang, Y., Zhang, Q., & Han, J. (2023). The enhancement of overall performance of lubricating grease by adding layered double hydroxides. <https://doi.org/10.20944/preprints202304.0288.v1>
- Lijesh, K. (2023). The standard for assessing water resistance properties of lubricating grease using contact angle measurements. *Lubricants*, 11(10), 440. <https://doi.org/10.3390/lubricants11100440>
- Lee, M. (2023). The tribological performance of perfluoropolyether-based grease biolubricant: a bibliometric analysis. *JTSE*, 30-38. <https://doi.org/10.11113/jtse.v10.202>
- Lubansky, A., Boger, D., Servais, C., Burbidge, A., & Cooper-White, J. (2007). An approximate solution to flow through a contraction for high trouton ratio fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 144(2-3), 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2007.04.002>
- Ma, L., Zhang, C., & Liu, S. (2012). Progress in experimental study of aqueous lubrication. *Chinese Science Bulletin*, 57(17), 2062-2069.

- <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5031-4>
- Martín-Alfonso, J., Valencia, C., Sánchez, M. M., Franco, J., & Gallegos, C. (2009). Rheological modification of lubricating greases with recycled polymers from different plastics waste. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(8), 4136-4144. <https://doi.org/10.1021/ie801359g>
- MOBIL INDUSTRIAL. Graxas: seus componentes e características. Disponível em: <https://www.mobilindustrial.com.br/media/2535/graxas-seus-componentes-e-caracteristicas.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2024.
- Mohammed, M. A. (2013). Effect of additives on the properties of different types of greases. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 14(3), 11-21. <https://doi.org/10.31699/ijcpe.2013.3.2>
- Morais, A. R. C., Simoni, L. D., Shiflett, M. B., & Scurto, A. M. (2022). Viscosity and density of an iso vg 32 polyol ester lubricant saturated with compressed hydrofluorocarbon gases: r-134a, r-32, and r-125. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 67(8), 1824-1833. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.2c00139>
- Morris, N., Johns-Rahnejat, P., & Rahnejat, H. (2020). Tribology and dowson. *Lubricants*, 8(6), 63. <https://doi.org/10.3390/lubricants8060063>
- Muhammad, A., Yusof, N., & Ripin, Z. (2023). The tribological performance analysis of palm olein-based grease lubricants containing copper nanoparticle additive. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J Journal of Engineering Tribology*, 237(12), 2162-2177. <https://doi.org/10.1177/13506501231190695>
- Nabhan, A., Rashed, A., Ghazaly, N. M., Abdo, J., & Haneef, M. D. (2021). Tribological properties of al₂o₃ nanoparticles as lithium grease additives. *Lubricants*, 9(1), 9. <https://doi.org/10.3390/lubricants9010009>
- Nehme, G., El-Merhabi, S., & Ghalambor, S. (2020). Effects of break in period on the 4-ball wear tests using molybdenum disulphide (mos₂) as ep additives in lithium based grease. *Agricultural Engineering*, 51, 16-22. <https://doi.org/10.15544/ageng.2019.51.3>
- Novaković, B., Radovanović, L., Zuber, N., Radosav, D., Đorđević, L., & Kavalić, M. (2022). Analysis of the influence of hydraulic fluid quality on external gear pump performance. *Eksplotacja I Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 24(2), 260-268. <https://doi.org/10.17531/ein.2022.2.7>

- Paszkowski, M., Stelmaszek, P. A., & Krzak, J. (2023). Effects of contamination on selected rheological and tribological properties of lubricating greases working in underground mines. *Lubricants*, 11(10), 425. <https://doi.org/10.3390/lubricants11100425>
- Pienaar, J. and Brent, A. (2012). A model for evaluating the economic feasibility of small-scale biodiesel production systems for on-farm fuel usage. *Renewable Energy*, 39(1), 483-489. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.08.048>
- Perveen, S., Hamid, S., Usman, S., & Hassan, S. (2018). In vitro dissolution of metronidazole (400 mg) tablets: effects of lubricants on the dissolution of tablets. *American Journal of Pharmtech Research*, 8(1), 232-243. <https://doi.org/10.46624/ajptr.2018.v8.i1.015>
- Rahim, E. A. and Sasahara, H. (2011). Investigation of tool wear and surface integrity on mql machining of ti-6al-4v using biodegradable oil. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 225(9), 1505-1511. <https://doi.org/10.1177/0954405411402554>
- Raj, A., Sarkar, C., & Pathak, M. (2021). Thermal and multiphase flow simulations of polytetrafluoroethylene-based grease flow in restricted geometry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J Journal of Engineering Tribology*, 236(1), 80-89. <https://doi.org/10.1177/13506501211009406>
- Rios, M., Dávila, E., Cárdenas, E., & Pérez, A. (2020). Evaluation of dispersion stability of al₂o₃ nanoparticles in jatropha curcas oil. *Microscopy and Microanalysis*, 26(S2), 2444-2445. <https://doi.org/10.1017/s1431927620021595>
- Ribeiro, K. d. L. and Sodré, J. R. (2014). Henry's constants for ethanol, iso-octane and gasoline absorption in engine lubricants. *Lubrication Science*, 27(4), 231-239. <https://doi.org/10.1002/ls.1272>
- Roy, S. and Ghosh, A. (2014). High-speed turning of aisi 4140 steel by multi-layered tin top-coated insert with minimum quantity lubrication technology and assessment of near tool-tip temperature using infrared thermography. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 228(9), 1058-1067.

- <https://doi.org/10.1177/0954405413514570>
- Reckziegel, V., Thiesen, R., Osório, E., & Schneider, I. (2018). Treatment of a forging industry graphite-rich wastewater and sludge characterization. *Desalination and Water Treatment*, 112, 72-79.
<https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22266>
- Sammaiah, A. and Padmaja, K. V. (2014). Synthesis and evaluation of novel acyl derivatives from jatropha oil as potential lubricant basestocks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(20), 4652-4660.
<https://doi.org/10.1021/jf501388d>
- Sánchez, R., Valencia, C., & Franco, J. (2014). Rheological and tribological characterization of a new acylated chitosan-based biodegradable lubricating grease: a comparative study with traditional lithium and calcium greases. *Tribology Transactions*, 57(3), 445-454.
<https://doi.org/10.1080/10402004.2014.880541>
- Sancheti, S. V. and Yadav, G. D. (2022). synthesis of environment-friendly, sustainable, and nontoxic bio-lubricants: a critical review of advances and a path forward. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(5), 1172-1195.
<https://doi.org/10.1002/bbb.2380>
- Sathyan, K. (2015). Lubrication for moving mechanical systems used in spacecraft. *Applied Mechanics and Materials*, 772, 446-452.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.772.446>
- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI (2007). Apostila de Lubrificação. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM285/Conte%FAdos/Complementos/Apostila%20Lubrificacao.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2024.
- Siddique, M. A. A., Kim, W., Kim, Y., Baek, S., Baek, S., Kim, Y. J., ... & Choi, C. (2020). Simulation of design factors of a clutch pack for power-shift transmission for an agricultural tractor. *Sensors*, 20(24), 7293.
<https://doi.org/10.3390/s20247293>
- Silva, K. S., Murad, M. d. Q., Okura, M. H., Malpass, G. R. P., & Lima, A. F. (2021). Sustainable motor oil recycling process using banana peel (*musa paradisiaca*) for fe ion adsorption. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 8(3), 129-140.
<https://doi.org/10.22161/ijaers.83.13>

- Sunny, S., Vogel, N., Howell, C., Vu, T. L., & Aizenberg, J. (2014). Lubricant-infused nanoparticulate coatings assembled by layer-by-layer deposition. *Advanced Functional Materials*, 24(42), 6658-6667. <https://doi.org/10.1002/adfm.201401289>
- Sohn, H., (Coord.) (2007), Guia Básico: Gerenciamento de Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados, Senai, São Paulo, SP.
- Stort, G. C.; Kokot, A. Avaliação do lubrificante para operação de mancais em máquinas elétricas girantes. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hce/hdf/WEG-avalia-o-do-lubrificante-para-opera-o-de-mancais-em-m-quinas-el-tricas-girantes-artigo-t-cnico-portugues.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.
- Suemar, P., Fonseca, E. F., Coutinho, R. C. C., Machado, F., Fontes, R., Ferreira, L. C., ... & Nele, M. (2012). Quantitative evaluation of the efficiency of water-in-crude-oil emulsion dehydration by electrocoalescence in pilot-plant and full-scale units. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(41), 13423-13437. <https://doi.org/10.1021/ie202489q>
- Szurdak, A., Rosenkranz, A., Gachot, C., & Mücklich, F. (2014). Manufacturing and tribological investigation of hot micro-coined lubrication pockets. *Key Engineering Materials*, 611-612, 417-424. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.611-612.417>
- Solea, L. C., Georgescu, C., & Deleanu, L. (2016). Viscosity dependence on shear rate and temperature for olive and soybean oils. *Journal of Engineering Sciences and Innovation*, 1(1), 110-119. <https://doi.org/10.56958/jesi.2016.1.1.110>
- Tan, H., Wooh, S., Butt, H., Zhang, X., & Lohse, D. (2019). Porous supraparticle assembly through self-lubricating evaporating colloidal ouzo drops. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08385-w>
- Taylor, R. (2012). Tribology and energy efficiency: from molecules to lubricated contacts to complete machines. *Faraday Discussions*, 156, 361. <https://doi.org/10.1039/c2fd00122e>
- Taylor, R. (2023). A closer look at sustainable lubricants. *Tribology Online*, 18(6), 268-274. <https://doi.org/10.2474/trol.18.268>
- TELUB (s.d.). Diferenças entre óleo e graxa. Disponível em:

- <<https://www.telub.com.br/blog/artigos-tecnicos/diferencias-entre-oleo-e-graxa>>. Acesso em: 23 nov. 2024.
- Torres-Sánchez, C. and Balodimos, N. (2017). Development of a nanodiamond-based lubricant for a versatile use in the beverage industry conveyor systems. *Industrial Lubrication and Tribology*, 69(5), 723-729. <https://doi.org/10.1108/ilt-02-2016-0022>
- Yeong, S., Luckham, P., & Tadros, T. (2004). Steady flow and viscoelastic properties of lubricating grease containing various thickener concentrations. *Journal of Colloid and Interface Science*, 274(1), 285-293. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.02.054>
- Usman, M., Saleem, M. W., Saqib, S., Umer, J., Ahmad, N., & Hassan, Z. U. (2014). Si engine performance, lubricant oil deterioration, and emission: a comparison of liquid and gaseous fuel. *Advances in Mechanical Engineering*, 12(6). <https://doi.org/10.1177/1687814020930451>
- Wathi, A. F. D., Dewi, S. S., El-Ridlo, N. K., Wijayanti, S. W., Masbukhin, F. A. A., & Bikharudin, A. (2023). Adsorption of lubricant waste by porous materials: a review. *Walisongo Journal of Chemistry*, 6(1), 38-53. <https://doi.org/10.21580/wjc.v6i1.14998>
- Wang, W., Qian, S., Gong, L., Zhang, N., & Ren, H. (2021). Effects of carbon nano onions on the tribological performance of food-grade calcium sulfonate complex grease. *Lubrication Science*, 33(8), 460-470. <https://doi.org/10.1002/ls.1567>
- Woma, T. Y., Lawal, S. A., Abdulrahman, A. S., Olutoye, M., & Ojapah, M. M. (2019). Vegetable oil based lubricants: challenges and prospects. *Tribology Online*, 14(2), 60-70. <https://doi.org/10.2474/trol.14.60>
- Yao, L., Wang, L., Yang, H., Li, C., Song, H., & Hu, X. (2019). Comparative analysis of stearates as grease lubricant thickeners. *Industrial Lubrication and Tribology*, 71(9), 1093-1098. <https://doi.org/10.1108/ilt-01-2019-0008>
- Yilmaz, E. (2004). An oil dilution technique used in small-scale frying to reduce oil expenditure. *International Journal of Food Science & Technology*, 39(3), 245-251. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00778.x>
- Zhang, J. and Meng, Y. (2014). Stick-slip friction of stainless steel in sodium dodecyl sulfate aqueous solution in the boundary lubrication regime. *Tribology Letters*, 56(3), 543-552. <https://doi.org/10.1007/s11249-014-0910-1>

0431-z

- Zhang, X., Li, D., Zhu, H., Ma, J., & An, Y. (2022). Advanced developments in environmentally friendly lubricants for water-based drilling fluid: a review. *RSC Advances*, 12(35), 22853-22868. <https://doi.org/10.1039/d2ra03888a>
- Zhou, Y., Bosman, R., & Lugt, P. M. (2017). A model for shear degradation of lithium soap grease at ambient temperature. *Tribology Transactions*, 61(1), 61-70. <https://doi.org/10.1080/10402004.2016.1272730>
- Zuhan, M., Razmi, M., Ramli, N., & Razali, M. (2022). Formulation of food-grade grease using paraffin oil, fumed silica, and chitosan. *Materials Science Forum*, 1069, 211-218. <https://doi.org/10.4028/p-yza5n0>
- SILVA, J.; MORAES, L. Importância da Lubrificação na Manutenção Industrial. *Revista Espacios*, v. 38, n. 29, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n29/17382932.html>