

## Comparação técnica e viabilidade econômica da utilização de lubrificantes sintéticos em substituição aos minerais na indústria

Technical comparison and economic feasibility of using synthetic lubricants as a replacement for mineral ones in industry

Fabício Moraes Arcoverde de Macedo<sup>1</sup>  
Guilherme Barbagallo Camara<sup>2</sup>  
Magda Dias Gonçalves Rios<sup>3</sup>  
Mario dos Santos Neto<sup>4</sup>

### Resumo

A lubrificação industrial representa um fator determinante para a disponibilidade dos ativos e a eficiência dos processos produtivos contemporâneos. Este artigo analisa comparativamente o desempenho técnico e a viabilidade econômica da utilização de lubrificantes sintéticos em substituição aos lubrificantes minerais, focando na redução de custos operacionais e no aumento da confiabilidade mecânica. A metodologia fundamentou-se em uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório e descritivo, utilizando obras de autores como Gil e Lakatos, além de normas técnicas e estudos específicos da área de manutenção. Os resultados indicam que, embora os lubrificantes sintéticos possuam um custo de aquisição inicial mais elevado, sua estrutura molecular uniforme proporciona maior estabilidade térmica, resistência à oxidação e proteção superior contra o desgaste. A análise do Custo Total de Propriedade (TCO) demonstrou que a migração para bases sintéticas é economicamente viável devido à extensão dos intervalos de troca, redução de paradas não programadas e menor consumo de energia. Conclui-se que a adoção de lubrificantes de alta performance é uma decisão estratégica essencial para a preservação do capital fixo e para a otimização da manutenção industrial em longo prazo.

**Palavras-Chave:** Lubrificantes Sintéticos; Manutenção Industrial; Confiabilidade; Viabilidade Econômica; Custo Total de Propriedade.

<sup>1</sup> Faculdade de Tecnologia Prof. Hirant Sanazar – Pirapora do Bom Jesus - São Paulo – Brasil.  
E-mail [fabricaoarcoverdemacedo@gmail.com](mailto:fabricaoarcoverdemacedo@gmail.com)

<sup>2</sup> Faculdade de Tecnologia Prof. Hirant Sanazar – São Paulo - São Paulo – Brasil.  
E-mail [gguicamara@gmail.com](mailto:gguicamara@gmail.com)

<sup>3</sup> Faculdade de Tecnologia Prof. Hirant Sanazar – São Paulo - São Paulo – Brasil.  
E-mail [magda.rios@cps.sp.gov.br](mailto:magda.rios@cps.sp.gov.br) – ORCID 0000-0003-2258-0600

<sup>4</sup> Faculdade de Tecnologia Prof. Hirant Sanazar – São Paulo - São Paulo – Brasil.  
E-mail [mario.santos20@fatec.sp.gov.br](mailto:mario.santos20@fatec.sp.gov.br)

## **Abstract**

Industrial lubrication represents a determining factor for asset availability and the efficiency of contemporary production processes. This article provides a comparative analysis of the technical performance and economic feasibility of using synthetic lubricants as a replacement for mineral lubricants, focusing on the reduction of operational costs and the increase of mechanical reliability. The methodology was based on an exploratory and descriptive bibliographic research, utilizing works by authors such as Gil and Lakatos, as well as technical standards and specific studies in the field of maintenance. The results indicate that, although synthetic lubricants have a higher initial acquisition cost, their uniform molecular structure provides greater thermal stability, oxidation resistance, and superior wear protection. The Total Cost of Ownership (TCO) analysis demonstrated that the migration to synthetic bases is economically viable due to extended drain intervals, reduction of unscheduled downtime, and lower energy consumption. It is concluded that the adoption of high-performance lubricants is an essential strategic decision for the preservation of fixed capital and for the long-term optimization of industrial maintenance.

**Keywords :** Synthetic Lubricants; Industrial Maintenance; Reliability; Economic Feasibility; Total Cost of Ownership.

## **1 Introdução**

A lubrificação industrial desempenha um papel determinante na integridade mecânica e na continuidade operacional dos ativos dentro das plantas produtivas modernas. Segundo Silva (2017), o ato de lubrificar consiste fundamentalmente na interposição de uma substância entre superfícies em movimento relativo para reduzir o atrito e o desgaste. O desenvolvimento tecnológico dos processos industriais impôs exigências severas aos componentes, tornando a seleção do fluido lubrificante uma decisão estratégica para a gestão da manutenção (Faria, 2022).

A evolução dos processos químicos permitiu a transição dos fluidos de base mineral para as formulações de base sintética, que oferecem propriedades superiores em condições extremas. De acordo com Gonçalves (2023), os óleos sintéticos são projetados em laboratório para garantir uma estrutura molecular uniforme, o que resulta em uma performance previsível e estável. Esta previsibilidade é essencial para equipamentos que operam em regimes de alta temperatura ou cargas elevadas, onde os lubrificantes convencionais tendem a falhar prematuramente (Lima, 2021). A padronização dessas substâncias facilita o controle de qualidade e a previsibilidade das falhas mecânicas.

A gestão eficiente da lubrificação está diretamente ligada à confiabilidade dos sistemas e à redução de custos com reposição de peças. Conforme apontam Dias et al. (2025), a correta aplicação de técnicas de lubrificação é capaz de estender significativamente a vida útil dos equipamentos, evitando paradas não programadas que impactam a produtividade. A

conformidade com normas técnicas internacionais assegura que os procedimentos de manutenção sigam critérios globais de qualidade e eficiência (ISO, 2014). Dessa forma, o fluido deixa de ser um insumo de consumo para se tornar um componente crítico de engenharia.

O monitoramento da condição do lubrificante e a análise de contaminantes são práticas indispensáveis para a manutenção preditiva de alta performance. International Organization for Standardization (2017) estabelece critérios rigorosos para a codificação do nível de contaminação por partículas sólidas em fluidos hidráulicos e lubrificantes. A utilização de bases sintéticas favorece a manutenção dessa limpeza por períodos mais longos devido à sua resistência intrínseca à degradação térmica.

A necessidade de otimização dos recursos financeiros nas indústrias coloca em pauta a viabilidade de investimentos em insumos de maior valor agregado, como os óleos sintéticos. De acordo com Duque (2018), o mercado de lubrificantes tem passado por transformações que privilegiam produtos com maior durabilidade e menor impacto ambiental. Diante desse cenário, surge o seguinte questionamento: Em que medida a substituição de lubrificantes minerais por sintéticos contribui para a otimização da disponibilidade dos ativos e para a redução dos custos operacionais em longo prazo na manutenção industrial? Acredita-se que a utilização de lubrificantes sintéticos, embora apresente um custo de aquisição inicial elevado, promove uma economia substancial no custo total de propriedade devido à maior estabilidade térmica e química, permitindo a extensão dos intervalos de troca e a redução expressiva de intervenções corretivas.

O objetivo geral deste estudo consiste em analisar comparativamente o desempenho técnico e a viabilidade econômica da utilização de lubrificantes sintéticos em substituição aos lubrificantes minerais no contexto da manutenção industrial, visando identificar ganhos em confiabilidade e redução de custos operacionais. Especificamente, pretende-se investigar a evolução histórica da lubrificação e as propriedades físico-químicas que diferenciam os óleos de base sintética dos óleos minerais. Além disso, busca-se identificar as vantagens operacionais e técnicas da utilização de lubrificantes sintéticos no que tange à estabilidade térmica, resistência à oxidação e proteção contra o desgaste. Pretende-se, ainda, avaliar a viabilidade econômica e o impacto financeiro da migração para sistemas de lubrificação sintética sob a ótica da redução do custo total de propriedade e aumento da vida útil dos equipamentos.

A relevância desta pesquisa pauta-se na busca constante da indústria por métodos que maximizem a disponibilidade dos ativos e reduzam o desperdício de recursos. Belinelli (2015) destaca que a adoção de políticas de lubrificação centradas na confiabilidade é um diferencial competitivo para empresas que operam com sistemas complexos. A compreensão profunda das vantagens dos fluidos sintéticos permite que o gestor de manutenção tome decisões baseadas em dados técnicos e financeiros sólidos. Assim, o estudo contribui para a disseminação de boas práticas que elevam o padrão da manutenção industrial contemporânea (Faria, 2022).

A fundamentação deste artigo foi estruturada por meio de uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório e descritivo, fundamentada na análise de materiais já publicados sobre o tema. Gil (2022) define que este tipo de abordagem permite ao pesquisador uma cobertura ampla de fenômenos que já foram objeto de estudos anteriores por diversos autores.

A coleta de dados concentrou-se em artigos científicos, dissertações e normas técnicas que tratam da lubrificação e sua gestão. A sistematização das informações buscou confrontar as propriedades dos fluidos minerais e sintéticos para validar os benefícios propostos neste trabalho.

## **2 Revisão da Literatura**

A análise dos dados bibliográficos revela que a lubrificação deixou de ser uma atividade meramente operacional para se tornar um pilar estratégico da engenharia de confiabilidade. Segundo Silva (2017), a correta seleção do lubrificante é o fator primordial para minimizar o contato metal-metal e dissipar o calor gerado pelo atrito cinemático. Essa visão é corroborada por Belinelli (2015), que afirma que a adoção de políticas de lubrificação centradas na confiabilidade permite que as organizações reduzam drasticamente os índices de falhas catastróficas em ativos críticos. A integração entre a ciência dos materiais e a gestão de ativos é o que garante a continuidade dos processos produtivos.

O confronto entre as bases minerais e sintéticas evidencia disparidades significativas no que diz respeito à estabilidade molecular e à resistência em ambientes agressivos. Gonçalves (2023) explica que, enquanto os óleos minerais possuem estruturas moleculares variadas e impurezas naturais, os sintéticos são quimicamente planejados para suportar variações térmicas extremas sem perder a viscosidade ideal. De acordo com Duque (2018), essa uniformidade molecular dos fluidos sintéticos resulta em um coeficiente de tração menor, o que se traduz em maior eficiência energética e menor geração de calor interno durante o trabalho mecânico.

A longevidade dos equipamentos industriais está intrinsecamente ligada à capacidade do lubrificante de resistir à oxidação e à degradação química ao longo do tempo. Faria (2022) destaca que os lubrificantes sintéticos possuem uma vida útil significativamente superior à dos minerais, permitindo a extensão dos intervalos de troca e reduzindo o volume de resíduos gerados. Nesse sentido, Dias et al. (2025) reforçam que o prolongamento da vida útil do fluido não apenas protege o maquinário, mas também otimiza a logística de manutenção e reduz a exposição dos técnicos a riscos durante as intervenções de troca. A resistência à oxidação torna-se, portanto, um critério de seleção tão importante quanto a própria capacidade de carga do óleo.

A normalização técnica serve como a base para a validação do desempenho dos lubrificantes e para a garantia de que os ativos operem dentro de parâmetros seguros. A International Organization for Standardization (2014) estabelece classificações rigorosas que orientam os engenheiros na escolha do produto adequado para cada tipo de aplicação industrial. Complementarmente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994) define diretrizes para a manutenibilidade, sublinhando que a escolha de insumos de alta performance é um requisito para que o sistema atinja sua vida útil projetada. O cumprimento dessas normas assegura que a substituição do mineral pelo sintético ocorra sob critérios técnicos validados e reproduzíveis.

A percepção de valor na manutenção moderna migrou do custo imediato do insumo para a análise do impacto global na disponibilidade da planta. Conforme Lima (2021), a redução de paradas não programadas é o principal benefício percebido pelas indústrias que optam por lubrificantes de tecnologia avançada. Silva (2017) complementa essa ideia ao observar que o investimento em óleos sintéticos se justifica pela proteção superior contra o desgaste abrasivo e corrosivo, que são as principais causas de morte prematura de rolamentos e engrenagens. Assim, a discussão técnica aponta para a consolidação dos lubrificantes sintéticos como a solução mais eficaz para os desafios da indústria contemporânea.

## 2.1 Evolução histórica da lubrificação e propriedades dos óleos sintéticos e minerais

A trajetória da lubrificação remonta às civilizações antigas, que utilizavam gorduras animais e óleos vegetais para reduzir o atrito em grandes construções e mecanismos rudimentares. Gonçalves (2023) relata que a verdadeira revolução ocorreu com a descoberta do petróleo no século XIX, permitindo o surgimento dos óleos minerais como a principal solução

para as máquinas a vapor. Contudo, as limitações dessas bases naturais em baixas ou altas temperaturas impulsionaram a ciência química a buscar alternativas mais estáveis. Segundo Silva (2017), a Segunda Guerra Mundial foi o marco para o desenvolvimento comercial dos lubrificantes sintéticos, motivada pela necessidade de fluidos que não congelassem em aeronaves militares em grandes altitudes.

Os óleos minerais, extraídos do refinamento do petróleo bruto, apresentam uma composição heterogênea que limita seu desempenho em condições severas de operação. Conforme explica Duque (2018), essas substâncias contêm impurezas naturais como ceras e compostos de enxofre que, sob estresse térmico, aceleram a formação de depósitos e ácidos corrosivos.

Em contrapartida, Lima (2021) afirma que os lubrificantes sintéticos são produzidos através de processos de síntese química controlada, resultando em moléculas uniformes e puras. Essa estrutura molecular "sob medida" permite que o fluido mantenha a película lubrificante intacta mesmo quando submetido a pressões extremas.

A estabilidade do índice de viscosidade é uma das propriedades físico-químicas mais críticas que distinguem os dois tipos de lubrificantes na indústria moderna. Silva (2017) observa que os óleos minerais tendem a afinar drasticamente com o calor e a engrossar no frio, exigindo aditivação pesada para compensar essas variações. Por outro lado, a International Organization for Standardization (2014) classifica os lubrificantes de base sintética como fluidos de alto índice de viscosidade natural, o que garante uma partida a frio mais segura e uma proteção térmica superior. Tal característica reduz o desgaste por "partida a seco", um dos momentos mais críticos para a vida útil dos componentes rotativos.

A resistência à oxidação e à degradação térmica define o tempo de permanência do fluido dentro do equipamento sem que ocorra a perda de suas funções vitais. Faria (2022) destaca que os hidrocarbonetos presentes nos óleos minerais reagem facilmente com o oxigênio em temperaturas elevadas, gerando borras que obstruem filtros e canais de lubrificação. Segundo Gonçalves (2023), os sintéticos, como os óleos do tipo PAO (Polialfaolefinas), possuem ligações químicas mais fortes que resistem à quebra molecular por calor. Essa estabilidade intrínseca permite que o sistema opere de forma limpa por períodos muito mais extensos do que seria possível com um óleo convencional de base mineral.

As normas técnicas atuais exigem que a indústria utilize fluidos que não apenas protejam o maquinário, mas que também atendam a requisitos de eficiência energética e menor contaminação. A International Organization for Standardization (2017) ressalta que a uniformidade dos sintéticos reduz o atrito interno do próprio fluido, diminuindo a resistência ao movimento das peças e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica dos motores. Belinelli (2015) corrobora esta visão ao indicar que a pureza dos sintéticos facilita o processo de filtragem e remoção de partículas sólidas. Assim, a evolução tecnológica transformou o lubrificante sintético em uma ferramenta de precisão química voltada para o alto rendimento industrial.

A escolha entre a base mineral e a sintética deve, portanto, pautar-se na severidade da aplicação e na expectativa de durabilidade dos ativos. Dias et al. (2025) argumentam que em sistemas onde a manutenção é de difícil acesso ou o tempo de inatividade é extremamente caro, a base sintética torna-se obrigatória. Complementarmente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994) reforça que a especificação técnica correta é o primeiro passo para garantir a confiabilidade e a manutenibilidade dos sistemas mecânicos industriais. Entender essa evolução histórica e química é fundamental para compreender por que o mercado global migra progressivamente para as soluções sintéticas de alta performance.

A refinação de óleos minerais, embora tenha evoluído com processos como o hidrocraqueamento, ainda entrega uma mistura de moléculas de diferentes tamanhos e formatos que limitam a performance em temperaturas extremas. Conforme explica Silva (2017), a presença de parafinas naturais nesses fluidos causa o aumento da viscosidade em climas frios, dificultando a fluidez necessária para a lubrificação imediata no momento da partida. Em contrapartida, Gonçalves (2023) destaca que a síntese laboratorial elimina essas impurezas desde a origem, resultando em um fluido com baixíssimo ponto de fluidez. Essa característica técnica garante que a proteção contra o desgaste comece no primeiro segundo de operação, algo que os óleos minerais convencionais não conseguem assegurar com a mesma eficácia.

A arquitetura molecular dos lubrificantes sintéticos permite ainda uma resistência superior à quebra da viscosidade por cisalhamento mecânico. Segundo a International Organization for Standardization (2014), a estabilidade de cisalhamento é o que mantém a espessura da película lubrificante constante mesmo sob as altíssimas pressões encontradas em dentes de engrenagens e pistas de rolamentos. Faria (2022) corrobora que, em óleos minerais aditivados, as moléculas de polímeros que melhoram o índice de viscosidade tendem a se romper com o tempo, fazendo com

que o óleo perca sua capacidade protetiva prematuramente. Já os sintéticos possuem uma viscosidade intrínseca mais estável, o que mantém a integridade do filme lubrificante por todo o período de serviço.

Além da performance térmica, a baixa volatilidade dos fluidos sintéticos contribui para uma operação mais limpa e com menor consumo de reposição por evaporação. Duque (2018) observa que os óleos minerais possuem frações mais leves que evaporam quando submetidas ao calor operacional, o que altera a viscosidade e aumenta a concentração de contaminantes no fluido restante.

De acordo com Lima (2021), essa estabilidade frente à evaporação é o que permite aos lubrificantes sintéticos manterem suas características originais por milhares de horas, evitando o espessamento do óleo e a formação de vernizes que danificam vedações e retentores. A manutenção da composição química original é, portanto, um fator crítico para a preservação dos ativos de longo prazo.

## 2.2 Desempenho operacional e vantagens técnicas na utilização de lubrificantes sintéticos

A performance operacional de um sistema mecânico está diretamente vinculada à capacidade do fluido em manter a separação das superfícies sob cargas variáveis. Silva (2017) ressalta que a estabilidade da película lubrificante em óleos sintéticos é superior devido à uniformidade de suas moléculas, o que previne o rompimento do filme em regimes de extrema pressão. Esta característica técnica é fundamental para a integridade de componentes de alta precisão, onde qualquer falha na lubrificação pode resultar em danos irreversíveis. De acordo com Belinelli (2015), a utilização de lubrificantes de alto desempenho reduz a frequência de desgastes abrasivos, garantindo que o equipamento opere dentro das tolerâncias de projeto por períodos mais extensos.

A resistência térmica constitui um dos principais diferenciais competitivos dos lubrificantes sintéticos no ambiente industrial severo. Faria (2022) observa que, enquanto os óleos minerais sofrem oxidação acelerada ao ultrapassarem determinadas faixas de temperatura, os sintéticos mantêm suas propriedades químicas inalteradas. Tal resistência evita a polimerização do óleo, processo que, segundo Gonçalves (2023), leva à formação de depósitos carbonosos e vernizes que comprometem a eficiência dos trocadores de calor e das válvulas de

controle. Portanto, a estabilidade térmica não apenas protege o motor ou redutor, mas mantém todo o sistema de lubrificação livre de obstruções.

A extensão dos intervalos de troca é um benefício operacional que impacta diretamente a disponibilidade dos ativos e a segurança das equipas. Dias et al. (2025) afirmam que a longevidade dos fluidos sintéticos permite reduzir o número de intervenções manuais, minimizando os riscos de acidentes e a possibilidade de introdução de contaminantes externos durante a abertura dos sistemas.

Complementarmente, a International Organization for Standardization (2014) estabelece que a classificação de lubrificantes de longa duração (long-life) deve atender a critérios rigorosos de retenção de aditivos e controle de acidez. Essa durabilidade estendida transforma a manutenção em um processo mais planejado e menos reativo. O controle da contaminação por partículas sólidas é facilitado pelas propriedades químicas das bases sintéticas, que não geram subprodutos de degradação interna. International Organization for Standardization (2017) define que o monitoramento constante do código de limpeza é vital para prevenir falhas por fadiga superficial em rolamentos. Silva (2017) complementa que os óleos sintéticos possuem uma capacidade de detergência e dispersância superior, mantendo as partículas em suspensão até que estas sejam capturadas pelos elementos filtrantes. Desta forma, o fluido atua como um agente de limpeza contínua, preservando as superfícies metálicas contra o desgaste por erosão.

A eficiência energética é uma vantagem técnica frequentemente subestimada, mas que apresenta resultados operacionais expressivos em grandes parques de máquinas. Duque (2018) argumenta que o menor coeficiente de atrito fluido-fluido dos lubrificantes sintéticos reduz a potência necessária para vencer a resistência interna do óleo, gerando economia de eletricidade ou combustível. Nesse sentido, Lima (2021) destaca que a menor temperatura de operação proporcionada por esses fluidos reduz a necessidade de sistemas de refrigeração auxiliar, otimizando o consumo global de recursos da planta. A performance técnica reflete-se, portanto, em um funcionamento mais "suave" e eficiente de todo o conjunto mecânico.

A conformidade com as exigências de desempenho das normas de manutenção garante que a transição tecnológica para os sintéticos produza os resultados esperados em confiabilidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994) preconiza que a manutenibilidade de um sistema é ampliada quando se utilizam materiais que oferecem maior previsibilidade de comportamento. Faria (2022) reforça que o desempenho operacional superior dos sintéticos é o

que permite à indústria adotar estratégias de manutenção preditiva mais audaciosas e precisas. Em suma, as vantagens técnicas consolidam o uso de bases sintéticas como a escolha racional para operações que não admitem interrupções imprevistas.

### 2.3 Análise da viabilidade econômica e impacto no custo total de propriedade (TCO)

A avaliação financeira da lubrificação industrial frequentemente ignora os custos ocultos associados à má qualidade dos fluidos, focando apenas no valor de aquisição por litro. Duque (2018) argumenta que a análise de viabilidade deve transpor o custo direto e considerar o ciclo de vida completo do ativo, onde o lubrificante sintético se mostra superior. Nesse contexto, a International Organization for Standardization (2014) define a gestão de ativos como um conjunto de práticas que equilibram custos, riscos e desempenho. A adoção de óleos de base sintética alinha-se a essa visão ao reduzir a necessidade de trocas frequentes e diminuir o descarte de resíduos contaminados, gerando economia processual.

O Custo Total de Propriedade (TCO) revela que a economia real na manutenção advém da redução drástica das paradas não programadas. Belinelli (2015) destaca que o custo de uma hora de máquina parada em setores críticos pode superar em centenas de vezes o valor investido em um galão de óleo sintético de alta performance. Lima (2021) complementa que a proteção extra fornecida pela tecnologia sintética retarda a necessidade de substituição de componentes caros, como engrenagens de grandes redutores e rolamentos de precisão. Assim, o investimento inicial mais elevado dilui-se rapidamente frente ao aumento da disponibilidade física e da produtividade do parque industrial.

A redução nos custos de mão de obra e logística é um fator determinante para a comprovação da hipótese de superioridade econômica dos sintéticos. Faria (2022) observa que, ao estender o intervalo de troca de duas para seis vezes a periodicidade original, a indústria reduz proporcionalmente às horas-homem dedicadas à lubrificação básica. Dias et al. (2025) reforçam que essa otimização do cronograma de manutenção permite que a equipe técnica foque em atividades de inspeção e melhoria, em vez de tarefas repetitivas de troca de óleo. O impacto da eficiência energética proporcionado pela baixa tração fluida dos sintéticos reflete diretamente nas faturas de energia elétrica das unidades fabris.

International Organization for Standardization (2017) ressalta que a redução do atrito interno nos equipamentos permite que os motores operem com menor carga, resultando em um

consumo de kW/h mais eficiente. Silva (2017) observa que em grandes sistemas centralizados, essa pequena porcentagem de ganho energético, quando somada ao longo de um ano fiscal, representa valores monetários significativos.

O lubrificante sintético, portanto, atua como um agente de redução de custos fixos operacionais (OPEX), impactando positivamente o balanço financeiro. A proteção contra falhas catastróficas por oxidação ou contaminação excessiva funciona como um seguro financeiro para os ativos de alto capital (CAPEX). Gonçalves (2023) afirma que a estabilidade química dos sintéticos minimiza o risco de danos severos causados por borras ácidas que corroem superfícies internas durante períodos de hibernação ou picos de calor. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994), a manutenção de um sistema em condições ideais de operabilidade é o caminho mais seguro para evitar investimentos prematuros em novos ativos. O custo evitado com a reforma de grandes equipamentos é, muitas vezes, o principal argumento para a aprovação da compra de óleos sintéticos pela gestão financeira.

A análise sistemática dos dados coletados demonstra que a migração para a lubrificação sintética é uma decisão pautada na lógica de retorno sobre investimento (ROI). Faria (2022) destaca que a visão moderna da manutenção exige que o técnico apresente resultados baseados em confiabilidade e sustentabilidade financeira. Silva (2017) conclui que, ao integrar o desempenho técnico superior com a economia de escala gerada pela longevidade do fluido, a indústria atinge um novo patamar de competitividade. A viabilidade econômica dos sintéticos, portanto, é confirmada não apenas pela proteção física, mas pela robusta redução do custo operacional total demonstrada ao longo deste estudo.

### **3 Metodologia**

A estrutura deste estudo fundamenta-se na modalidade de pesquisa bibliográfica, caracterizada pela análise sistemática de documentos e materiais já publicados. Segundo Gil (2022), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material elaborado anteriormente, consistindo principalmente de livros e artigos científicos que oferecem o suporte teórico necessário para a investigação. Este método permite ao pesquisador uma cobertura ampla de dados que seriam difíceis de obter diretamente, facilitando a construção de uma base de conhecimento consolidada sobre a lubrificação industrial. Lakatos e Marconi (2021) reiteram que

a finalidade dessa abordagem é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto.

O delineamento da pesquisa possui caráter exploratório e descritivo, visando detalhar as propriedades técnicas e os impactos financeiros da substituição de lubrificantes. De acordo com Lakatos e Marconi (2021), as pesquisas descritivas têm como objetivo principal a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. A escolha deste método justifica-se pela necessidade de confrontar dados técnicos de fabricantes e estudos acadêmicos sobre o desempenho de óleos minerais e sintéticos. Gil (2022) afirma que pesquisas desse gênero procuram descobrir a existência de associações entre variáveis, o que, neste caso, aplica-se à relação entre o tipo de base lubrificante e a vida útil dos componentes mecânicos.

A coleta de dados foi realizada por meio de buscas em bases de dados científicas renomadas, garantindo a credibilidade e a atualidade das informações. Utilizaram-se repositórios como o Google Acadêmico, a plataforma Scielo e periódicos específicos da área de engenharia de manutenção e química industrial. Gil (2022) explica que a qualidade de uma pesquisa bibliográfica depende diretamente do rigor na seleção das fontes, que devem ser pertinentes ao problema de pesquisa formulado. Para a seleção do material, foram adotados critérios de relevância temática e rigor metodológico dos autores citados, priorizando-se obras que abordassem a gestão da manutenção sob a ótica da confiabilidade.

Os critérios de inclusão definidos para a seleção das bibliografias focaram em obras publicadas que tratam especificamente da composição, aplicação e análise de custos de lubrificantes. Lakatos e Marconi (2021) destacam que o pesquisador deve ter critérios claros para a triagem do material, evitando o acúmulo de informações irrelevantes que possam comprometer a objetividade do trabalho. Foram priorizados artigos recentes, dissertações de mestrado e normas técnicas da ABNT e ISO, que fornecem os parâmetros regulatórios para a indústria. Gil (2022) ressalta que o levantamento bibliográfico deve ser exaustivo o suficiente para permitir uma visão global do tema, mas seletivo para manter o foco nos objetivos propostos.

Para a organização das informações coletadas, aplicou-se a técnica de leitura analítica, que permite identificar as ideias centrais e as evidências apresentadas pelos diversos autores. Segundo Lakatos e Marconi (2021), a leitura analítica tem por objetivo ordenar e resumir as informações

contidas nas fontes de forma que estas respondam aos questionamentos da pesquisa. Esse processo foi essencial para estruturar o comparativo entre o desempenho dos lubrificantes minerais e sintéticos, permitindo a extração de dados sobre estabilidade oxidativa e intervalos de troca.

A análise dos resultados foi realizada por meio de uma abordagem qualitativa, interpretando os dados bibliográficos à luz dos objetivos geral e específicos do estudo. De acordo com Gil (2022), a análise qualitativa busca a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados, sem a obrigatoriedade de mensuração estatística rigorosa. A interpretação focou em validar a hipótese de que o uso de lubrificantes sintéticos otimiza o custo total de propriedade, apesar do investimento inicial elevado. Lakatos e Marconi (2021) afirmam que a análise deve estar sempre voltada para a solução do problema proposto, garantindo que as conclusões sejam fundamentadas em evidências documentais sólidas e confiáveis.

A redação do artigo seguiu as normas técnicas para trabalhos acadêmicos, zelando pela clareza, objetividade e impessoalidade na apresentação dos argumentos. Gil (2022) orienta que a apresentação dos resultados de uma pesquisa bibliográfica deve seguir uma ordem lógica que facilite a compreensão do leitor sobre a evolução do tema. A sistematização final buscou integrar a evolução histórica da lubrificação com as tendências modernas da Manutenção 4.0. Lakatos e Marconi (2021) reforçam que a última fase da pesquisa é a composição escrita, que deve traduzir de maneira fidedigna as descobertas feitas durante o levantamento e a análise bibliográfica, consolidando o conhecimento produzido.

## **4 Resultados e Discussão**

A lubrificação industrial consolidou-se como um fator determinante para a disponibilidade dos ativos, transcendendo a função de simples insumo para tornar-se um componente crítico de engenharia. Segundo Silva (2017), o ato de lubrificar fundamenta-se na interposição de substâncias que reduzem o atrito cinemático, protegendo as superfícies em movimento relativo. Complementarmente, Faria (2022) destaca que a seleção estratégica do fluido é vital para a gestão da manutenção moderna, especialmente diante de exigências severas. Nesse contexto, Lima (2021) reforça que a correta aplicação de técnicas preventivas amplia significativamente a vida útil dos componentes, evitando falhas prematuras que comprometem o fluxo produtivo.

A transição tecnológica dos fluidos de base mineral para as formulações sintéticas representa uma evolução necessária para suportar regimes de operação extremos. Gonçalves (2023) explica que os óleos sintéticos são projetados laboratorialmente para garantir uma estrutura molecular uniforme, resultando em performance estável.

De acordo com Duque (2018), essa uniformidade molecular proporciona um coeficiente de tração menor, o que eleva a eficiência energética dos sistemas mecânicos. Paralelamente, Dias *et al.* (2025) afirmam que o uso de produtos com tecnologia avançada impacta diretamente na longevidade dos equipamentos, reduzindo a necessidade de substituições constantes de peças.

A estabilidade térmica configura-se como um diferencial técnico primordial na comparação entre as bases lubrificantes disponíveis no mercado. Silva (2017) observa que, enquanto óleos minerais tendem a sofrer variações drásticas de viscosidade sob calor intenso, os sintéticos mantêm a película protetora estável. Segundo Gonçalves (2023), a ausência de impurezas naturais nas bases sintéticas impede a formação acelerada de borras e ácidos corrosivos em altas temperaturas. Assim, Faria (2022) assevera que a resistência intrínseca à degradação térmica permite que o sistema opere de forma limpa, preservando a integridade dos dentes de engrenagens e rolamentos.

A normalização técnica internacional estabelece os parâmetros necessários para assegurar a confiabilidade dos processos de lubrificação em larga escala. A International Organization for Standardization (2014) classifica os lubrificantes industriais por meio da norma ISO 6743, orientando a escolha do fluido adequado para cada aplicação. Em consonância, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994) define diretrizes de manutenibilidade que sublinham a importância de insumos de alta performance para o cumprimento da vida útil projetada. Faria (2022) complementa que o alinhamento a esses padrões regulatórios é o que permite a implementação de estratégias de manutenção preditiva mais precisas.

O controle de contaminantes em fluidos hidráulicos e de lubrificação é uma prática indispensável para a preservação do capital fixo das organizações. A International Organization for Standardization (2017) estipula, através da ISO 4406, critérios rigorosos para a codificação do nível de limpeza por partículas sólidas. Belinelli (2015) destaca que a pureza das bases sintéticas facilita o processo de filtragem, permitindo que o fluido atue como um agente de limpeza contínua do sistema. Silva (2017) reforça que a manutenção dessa limpeza por períodos prolongados reduz significativamente o desgaste abrasivo e a fadiga superficial dos metais.

A análise do Custo Total de Propriedade (TCO) revela que a viabilidade econômica dos lubrificantes sintéticos manifesta-se no médio e longo prazo. Duque (2018) argumenta que o mercado privilegia produtos com maior durabilidade, uma vez que o custo de aquisição inicial é diluído pelos ganhos operacionais.

Conforme Lima (2021), a proteção superior contra o desgaste retarda intervenções de alto custo, como a reforma de grandes redutores. Ademais, a International Organization for Standardization (2014) preconiza que a gestão de ativos deve equilibrar custos e riscos, visando o desempenho otimizado do ciclo de vida dos equipamentos.

A extensão dos intervalos de troca de óleo é um dos principais vetores de redução de custos fixos na manutenção industrial. Dias *et al.* (2025) salientam que a longevidade dos fluidos sintéticos permite reduzir a frequência de paradas programadas, otimizando a logística de insumos. Faria (2022) observa que, ao ampliar a periodicidade de troca, a empresa reduz drasticamente as horas-homem dedicadas a tarefas repetitivas. Para Silva (2017), essa otimização do cronograma preventivo aumenta a disponibilidade física do parque industrial para o cumprimento das metas de produção.

A eficiência energética proporcionada pela redução do atrito interno do fluido reflete diretamente na sustentabilidade financeira e ambiental das plantas produtivas. A International Organization for Standardization (2017) ressalta que a fluidez superior dos sintéticos diminui a resistência ao movimento, exigindo menor potência dos motores elétricos. Duque (2018) complementa que essa economia de energia, somada ao longo de um ano fiscal, representa um impacto monetário expressivo nos custos operacionais. Segundo Gonçalves (2023), o menor consumo de recursos fortalece a competitividade organizacional em um cenário global de eficiência energética.

A segurança operacional é ampliada quando se utilizam fluidos de alta estabilidade que minimizam falhas catastróficas e intervenções emergenciais. Dias *et al.* (2025) defendem que a redução no número de trocas de óleo diminui a exposição dos técnicos a riscos ambientais e de acidentes de trabalho. De acordo com Belinelli (2015), políticas de lubrificação centradas na confiabilidade são essenciais para indústrias que operam com sistemas de alta complexidade. Lima (2021) corrobora que a previsibilidade do comportamento dos óleos sintéticos evita quebras imprevistas que impactam a segurança e o faturamento.

A integração entre a tecnologia de lubrificação e os conceitos da Indústria 4.0 exige fluidos que suportem o monitoramento constante de condições. Faria (2022) enfatiza que a manutenção em ambientes tecnológicos avançados demanda insumos que mantenham suas propriedades originais por milhares de horas.

A International Organization for Standardization (2014) aponta que a gestão de ativos deve se basear em informações técnicas sólidas para garantir a continuidade operacional. Por fim, Silva (2017) afirma que a estabilidade química dos sintéticos é o que permite a aplicação eficaz de sensores de monitoramento de partículas e degradação.

A superioridade técnica das bases sintéticas manifesta-se inclusive em momentos críticos, como a partida a frio dos equipamentos. Gonçalves (2023) destaca que o baixo ponto de fluidez dessas substâncias garante a lubrificação imediata dos componentes rotativos desde o primeiro segundo de operação. Silva (2017) observa que óleos minerais, devido à presença de parafinas, tendem a engrossar em climas frios, dificultando a circulação inicial. Consequentemente, Dias *et al.* (2025) reforçam que a proteção térmica superior dos sintéticos reduz drasticamente o desgaste por "partida a seco" em sistemas críticos.

A resistência ao cisalhamento mecânico é outro fator que diferencia qualitativamente os lubrificantes sintéticos das opções convencionais. A International Organization for Standardization (2014) define que a estabilidade de cisalhamento mantém a espessura da película lubrificante constante sob pressões extremas. Faria (2022) explica que em óleos minerais aditivados, as moléculas que melhoram o índice de viscosidade tendem a se romper com o uso. Em contrapartida, Lima (2021) assevera que a viscosidade intrínseca dos sintéticos assegura a proteção mecânica contínua, mesmo em regimes de carga intermitente.

A baixa volatilidade dos fluidos sintéticos contribui para uma operação mais limpa e reduz a necessidade de reposição constante de nível por evaporação. Duque (2018) pontua que frações mais leves de óleos minerais evaporam sob calor operacional, alterando as características químicas do fluido restante. Segundo Gonçalves (2023), a estabilidade frente à evaporação evita o espessamento do óleo e a formação de vernizes prejudiciais às vedações. Silva (2017) complementa que essa manutenção da composição original é vital para a preservação de ativos que operam em ambientes de alta temperatura.

O investimento em lubrificação de alto desempenho atua como uma proteção financeira para o capital investido em maquinário de grande porte. A Associação Brasileira de Normas

Técnicas (1994) ressalta que manter o sistema em condições ideais é a forma mais eficaz de evitar obsolescência precoce. Belinelli (2015) argumenta que o custo de uma hora de máquina parada em setores críticos supera largamente o valor de mercado dos lubrificantes sintéticos.

A detergência e a dispersância superiores dos óleos sintéticos garantem que as impurezas não se depositem nas partes internas do motor ou redutor. Silva (2017) esclarece que essas propriedades mantêm os contaminantes em suspensão até que sejam removidos pelos filtros do sistema. De acordo com a International Organization for Standardization (2017), o controle efetivo da contaminação é o pilar para prevenir a erosão e a corrosão das superfícies metálicas. Dias *et al.* (2025) afirmam que essa limpeza interna constante prolonga a vida útil dos elementos de vedação e previne obstruções em canais de lubrificação.

A adoção de bases sintéticas alinha a manutenção industrial às exigências de sustentabilidade e menor impacto ambiental. Duque (2018) observa que o menor volume de resíduos gerados, devido à extensão das trocas, é um benefício ecológico relevante para as indústrias certificadas. Gonçalves (2023) reforça que o desenvolvimento de tecnologias de lubrificação busca integrar o desempenho técnico à redução do descarte de fluidos usados. Nesse sentido, Faria (2022) destaca que a eficiência processual caminha junto com a responsabilidade ambiental na gestão da manutenção contemporânea.

A previsibilidade operacional garantida pelos sintéticos facilita o planejamento estratégico da produção e evita o desperdício de recursos. Lima (2021) afirma que equipamentos que utilizam lubrificantes de ponta apresentam comportamentos de desgaste mais lineares e fáceis de monitorar. Segundo a International Organization for Standardization (2014), a gestão de ativos eficaz requer insumos que ofereçam confiabilidade para o cumprimento do plano de negócios. Belinelli (2015) acrescenta que essa estabilidade permite que o gestor de manutenção tome decisões baseadas em dados técnicos robustos e não apenas em estimativas.

O desempenho operacional superior das bases sintéticas é comprovado pela integridade de componentes de alta precisão em condições de trabalho contínuo. Dias *et al.* (2025) asseveram que a separação eficaz das superfícies sob cargas variáveis é o que impede a falha por fadiga. Silva (2017) complementa que a uniformidade molecular previne o rompimento do filme lubrificante em situações de extrema pressão. Para Faria (2022), essa capacidade técnica é o que permite à indústria operar em regimes de produtividade elevada sem comprometer a integridade dos equipamentos.

O impacto global da migração para sistemas sintéticos reflete-se em uma redução substancial do OPEX (Custo Operacional) das plantas industriais. Duque (2018) demonstra que a economia real advém da soma de menores custos de energia, mão de obra e peças de reposição.

De acordo com Lima (2021), a proteção extra fornecida pela tecnologia sintética é um investimento que se paga através da disponibilidade máxima dos ativos. A International Organization for Standardization (2017) reforça que a eficiência na lubrificação é um requisito básico para a excelência na gestão de manutenção e confiabilidade.

Em última análise, a consolidação dos lubrificantes sintéticos como o padrão para indústrias de alta performance é suportada por evidências técnicas e financeiras. Silva (2017) conclui que a correta seleção do fluido é o ponto de partida para a eliminação de paradas não programadas. Gonçalves (2023) reitera que a evolução química dos lubrificantes transformou esses produtos em ferramentas de precisão essenciais para a engenharia. Assim, Dias *et al.* (2025) afirmam que a transição para bases sintéticas é a decisão mais racional para organizações que buscam maximizar a vida útil de seus bens de capital.

## **5 Considerações Finais**

O estudo permitiu compreender que a transição da lubrificação mineral para a sintética representa um marco de maturidade na gestão da manutenção industrial. A análise técnica evidenciou que as propriedades moleculares dos fluidos sintéticos oferecem uma resposta superior aos desafios impostos por máquinas de alta performance. Observou-se que a estabilidade térmica e a resistência à oxidação são os pilares que sustentam a integridade dos componentes mecânicos em regimes de trabalho contínuo. Assim, a superioridade técnica desses insumos reflete diretamente na confiabilidade global do sistema produtivo.

A investigação acerca da evolução histórica demonstrou que a ciência da lubrificação acompanhou as exigências das revoluções industriais, culminando na criação de substâncias planejadas em laboratório. Diferente das bases minerais, que dependem da qualidade variável do petróleo bruto, as bases sintéticas proporcionam uma previsibilidade operacional indispensável para a engenharia moderna. Essa diferenciação química é o que permite que equipamentos operem em condições de temperatura que seriam proibitivas para lubrificantes convencionais. A compreensão dessa trajetória é fundamental para fundamentar a escolha por tecnologias de ponta.

No que diz respeito ao desempenho operacional, os resultados apontaram que a redução do desgaste e a extensão dos intervalos de troca são benefícios reais e mensuráveis. A capacidade de manter a película lubrificante intacta sob pressões extremas minimiza intervenções corretivas e prolonga a vida útil de rolamentos e engrenagens.

Além disso, a manutenção da limpeza interna dos sistemas evita falhas por obstrução e degradação prematura do fluido. O ganho em disponibilidade de máquina é, portanto, uma consequência direta da estabilidade física dos óleos de base sintética. A análise econômica validou a hipótese de que o investimento inicial mais elevado em lubrificantes sintéticos é amplamente compensado pela redução do custo total de propriedade. A economia gerada pela menor frequência de paradas, redução do consumo de energia e menor volume de descarte de resíduos equilibra o balanço financeiro da manutenção. O foco no ciclo de vida do ativo, em detrimento do preço de compra por litro, mostra-se a abordagem mais lucrativa para as organizações. A viabilidade financeira é ratificada quando todos os custos indiretos de uma falha mecânica são contabilizados.

A pergunta problema formulada no início desta pesquisa encontra resposta na constatação de que a substituição de lubrificantes contribui significativamente para a otimização dos ativos. A integração entre o desempenho técnico superior e a economia processual resulta em uma operação mais eficiente e sustentável. Os dados analisados reforçam que a migração para sistemas sintéticos é um passo estratégico para empresas que buscam excelência competitiva. A disponibilidade dos ativos é maximizada à medida que as vulnerabilidades ligadas à lubrificação mineral são eliminadas.

Os objetivos específicos foram integralmente atingidos ao longo das discussões propostas nos capítulos de desenvolvimento. Investigou-se a fundo a distinção química entre as bases, identificaram-se as vantagens operacionais nas frentes de proteção térmica e mecânica e avaliou-se o impacto financeiro sob a ótica da gestão de ativos. Cada etapa do trabalho serviu para consolidar o entendimento de que a lubrificação é uma ferramenta de engenharia e não apenas um insumo de consumo. A conexão entre esses objetivos permitiu uma visão holística e profunda sobre o tema proposto.

Embora os benefícios sejam claros, nota-se que ainda existem lacunas no mercado nacional quanto à plena adoção dessas tecnologias em equipamentos de menor criticidade. Muitas vezes, a visão de curto prazo impede que gestores alcancem os patamares de economia

demonstrados nesta revisão bibliográfica. Proposições futuras podem incluir o estudo do impacto ambiental reduzido dos sintéticos devido ao menor descarte, alinhando a manutenção industrial às metas de sustentabilidade global. O aprofundamento em casos práticos específicos de diferentes setores pode enriquecer ainda mais o debate sobre a padronização de lubrificantes sintéticos.

A jornada deste artigo encerra-se com a certeza de que a lubrificação industrial sintética é o padrão para a indústria de alta confiabilidade. A base teórica construída oferece suporte para que profissionais da área tomem decisões tecnicamente robustas e economicamente vantajosas. A valorização da engenharia de manutenção passa obrigatoriamente pela qualificação dos insumos e pela aplicação de normas que garantam a longevidade dos bens de capital. O conhecimento aqui consolidado serve como guia para a implementação de melhorias contínuas nos processos de lubrificação no cenário fabril contemporâneo.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BELINELLI, Marjorie Maria. **Desenvolvimento de método para seleção de política de lubrificação de máquinas centrada em confiabilidade**: aplicação na indústria alimentícia. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

DIAS, João Vitor Cardoso; ARAÚJO, Nerimarcos Santos; LIMA, Wesley dos Anjos. Lubrificação industrial: técnicas, produtos e impacto na vida útil dos equipamentos. **RevistaFT**, v. 29, ed. 151, out. 2025. DOI: 10.69849/revistaft/ra10202510231350.

DUQUE, Jardel Farias. **Avaliação do mercado brasileiro de óleos lubrificantes**: produção, consumo, reaproveitamento e perspectivas. 2018. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

FARIA, Lucas Domingues de. **A importância da lubrificação nos processos de manutenção industrial**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Anhanguera de Santa Bárbara d'Oeste, Santa Bárbara d'Oeste, 2022.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GONÇALVES, Leonardo Patrick Pereira. **Óleos lubrificantes e suas tecnologias**: uma sequência de ensino elaborada a partir de elementos da abordagem CTSA. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4406**: Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles. Geneva: ISO, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 55000**: Asset management – Overview, principles and terminology. Geneva: ISO, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6743**: Lubricants, industrial oils and related products (class L) – Classification. Geneva: ISO, 2014.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

LIMA, Lucas Fernando Francelino de. **Lubrificação industrial**: a relevância da lubrificação preventiva na vida útil dos equipamentos. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituição Anhanguera, Campo Grande, 2021.

SILVA, Wellington Pereira. **Lubrificação de equipamentos industriais**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Pitágoras, Poços de Caldas, 2017.