

DESEMPENHO DE LUBRIFICANTES EM ROLAMENTO DE ALTA TEMPERATURA E VELOCIDADE: AVALIAÇÃO E APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Karina Hilário da Silva Travassos¹
Pedro Henrique Zanella de Andrade²
Aldo Falconi Filho³

aldo.falconi@gmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Engenharias

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo investigar a influência da lubrificação nas falhas recorrentes dos rolamentos de alta temperatura e velocidade do equipamento ITL100, localizado na etapa de formação de tubos (“castelo”). A problemática surge da elevada taxa de falhas registradas, que impactam diretamente a produtividade e a eficiência operacional. Para isso, o estudo adota uma abordagem metodológica mista, envolvendo levantamento bibliográfico e ensaios laboratoriais com três amostras distintas de graxas lubrificantes — Mobil Grease MP, Lubrax Neo SC 2 e Lubrax Calcium GR —, selecionadas com base em suas características físico-químicas e aplicações industriais. Foram conduzidos testes de viscosidade, estabilidade térmica e resistência à contaminação por água, além de análise documental e monitoramento da temperatura do rolamento com auxílio de pirômetro e termografia. Até o presente momento, a pesquisa encontra-se em fase de desenvolvimento, tendo sido concluída a revisão teórica inicial, a definição dos materiais e a execução dos primeiros ensaios experimentais. Os próximos passos envolvem a análise comparativa dos resultados laboratoriais e a proposição de recomendações para otimizar o desempenho da lubrificação e reduzir a frequência de falhas.

PALAVRAS-CHAVE: lubrificação; rolamentos; temperatura; velocidade; formadora de tubos.

1 INTRODUÇÃO

A lubrificação é um fator essencial para o desempenho e a durabilidade de componentes mecânicos, desempenhando papel fundamental na redução do atrito, desgaste, dissipação de calor e proteção contra corrosão (Silva, 2017). Em aplicações industriais que envolvem altas temperaturas e velocidades elevadas, a seleção correta

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Mecânica da Univértix – Bolsista do Programa de Iniciação Científica (PIBIC).

² Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da Univértix.

³ Engenheiro Mecânico. Mestre em Física. Especialista em Docência do Ensino Superior. Professor do Curso de Engenharia Mecânica da Univértix.

do lubrificante torna-se ainda mais relevante, pois falhas nesse processo podem gerar desgastes prematuros, superaquecimento e paradas não programadas, comprometendo diretamente a eficiência produtiva (Morais, 2022). Entre os componentes mais impactados, destacam-se os rolamentos, que são responsáveis por permitir o movimento rotativo com mínimo atrito e estão presentes em praticamente todos os sistemas industriais (Carreteiro, 2006).

Um exemplo crítico dessa problemática ocorre nas máquinas conformadoras de tubos, onde os rolamentos dos sistemas de rolos de solda trabalham sob altas cargas térmicas e elevadas velocidades, exigindo graxas com elevada estabilidade térmica e resistência à contaminação (Shigley, 2011). Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência da lubrificação na vida útil dos rolamentos do equipamento ITL100, utilizado na etapa de formação de tubos, por meio de análises experimentais e comparação técnica entre diferentes graxas lubrificantes, incluindo as recomendadas em catálogos da SKF (2020).

Os objetivos específicos envolvem: (i) Analisar as condições de temperatura e velocidade dos rolamentos; (ii) Identificar as causas de falhas prematuras com foco na influência da lubrificação; (iii) Avaliar o desempenho do lubrificante atual e compará-lo a alternativas técnicas; (iv) Realizar ensaios de viscosidade, estabilidade térmica e resistência à água para definição da melhor opção de graxa; (v) Definir a periodicidade ideal de relubrificação e propor um plano preventivo de manutenção.

A pesquisa se justifica pela necessidade de otimizar o processo de lubrificação e, conseqüentemente, reduzir custos operacionais, aumentar a vida útil dos rolamentos e elevar a confiabilidade do equipamento. Dessa forma, o estudo pretende contribuir tanto para o avanço acadêmico, oferecendo dados relevantes sobre lubrificação em sistemas de alta exigência, quanto para o setor industrial, fornecendo recomendações práticas para a prevenção de falhas e melhorias de desempenho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 LUBRIFICAÇÃO: CONCEITOS E REGIMES

A lubrificação é um processo fundamental na engenharia mecânica, projetado para minimizar o atrito e o desgaste entre superfícies em movimento relativo. Segundo Moura e Carreteiro (1975), ela se define pela interposição de um material lubrificante,

que pode ser líquido, sólido ou semissólido, entre os componentes. Sua importância transcende a simples redução do atrito, desempenhando funções críticas como a dissipação do calor gerado, a proteção contra corrosão, a vedação contra contaminantes e a transmissão de força (Pirro; Wessol, 2001). Em ambientes industriais severos, caracterizados por altas temperaturas e velocidades, a falha na lubrificação pode levar a desgastes acelerados, superaquecimento e, em casos extremos, à falha catastrófica dos equipamentos (Neale, 1995).

A eficácia da lubrificação depende do regime em que o sistema opera, o qual é determinado pela velocidade, carga e viscosidade do lubrificante.

2.1.1 Lubrificação Hidrodinâmica

Neste regime, um filme de lubrificante contínuo e espesso separa completamente as superfícies, impedindo o contato direto. A formação desse filme é resultado do movimento relativo que "arrasta" o lubrificante para a zona de carga, gerando uma pressão hidrodinâmica que suporta as forças aplicadas (Stachowiak; Batchelor, 2005). É um regime altamente eficiente, comum em mancais de deslizamento operando em altas velocidades e cargas moderadas. A espessura mínima do filme (h_{min}) é um parâmetro crítico, e sua insuficiência pode levar à falha do regime. A equação 1 de Hamrock-Dowson é utilizada para estimar essa espessura:

$$h_{min} = 2.65 \cdot R \cdot \left(\frac{\eta \cdot u}{E' \cdot R} \right) e^{0.7} \cdot \left(\frac{P}{E' \cdot R^2} \right) e^{-0.13} \quad (1)$$

Onde:

h_{min} : Espessura mínima do filme lubrificante

R : Raio do rolamento

η : Viscosidade do lubrificante

u : Velocidade de deslizamento

E' : Módulo de elasticidade equivalente

P : Carga aplicada

2.1.2 Lubrificação Hidrostática

Diferente da hidrodinâmica, a lubrificação hidrostática não depende do movimento relativo para gerar pressão. Em vez disso, uma fonte externa (uma bomba) injeta o lubrificante pressurizado entre as superfícies, garantindo a separação mesmo em condições de baixa ou nenhuma velocidade e cargas extremamente elevadas (Szeri, 2010). É um sistema robusto, porém mais complexo e caro, sendo aplicado em máquinas-ferramentas de alta precisão e equipamentos pesados (Khonsari; Booser, 2017).

2.1.3 Lubrificação de Limite

Ocorre quando a velocidade é muito baixa, a carga é muito alta ou a viscosidade é insuficiente para formar um filme hidrodinâmico completo. As superfícies entram em contato direto em pontos de aspereza. A proteção contra o desgaste, neste caso, não depende da viscosidade do óleo-base, mas sim de aditivos quimicamente ativos presentes no lubrificante (BHUSHAN, 2013). Aditivos de extrema pressão (EP) e antidesgaste (AW) reagem com as superfícies metálicas para formar uma camada de sacrifício que previne a solda e o desgaste severo (SPIKES, 2006). A taxa de desgaste (W) é um parâmetro crítico neste regime, segundo a equação 2:

$$W = \frac{V}{t \cdot Fn} \quad (2)$$

Onde:

W : Taxa de desgaste ($\text{mm}^3/\text{N.h}$)
 V : Volume de material removido (mm^3)
 t : Tempo de operação (Hora)
 Fn : Carga normal aplicada (N)

2.1.4 Lubrificação Mista

Este é um regime de transição entre a lubrificação hidrodinâmica e a de limite. Parte da carga é suportada pela pressão hidrodinâmica do filme lubrificante, enquanto o restante é suportado pelo contato direto entre as asperezas das superfícies (ZHU *et al.*, 2010). É um regime comum em sistemas onde a carga e a velocidade variam significativamente, como em motores e redutores. A eficiência depende da capacidade do lubrificante de formar um filme parcial e, ao mesmo tempo, proteger as áreas de contato direto (Holmes *et al.*, 2003).

2.2 LUBRIFICANTES: TIPOS E PROPRIEDADES CRÍTICAS

A seleção do lubrificante adequado é essencial e depende das condições operacionais. Eles são classificados em óleos, graxas e lubrificantes sólidos, cada um com características específicas.

2.2.1 Tipos de Lubrificantes

Óleos Lubrificantes: São fluidos e ideais para sistemas que exigem alta dissipação de calor. Em rolamentos de alta velocidade, óleos sintéticos são preferidos por sua estabilidade térmica e resistência à oxidação (Silva *et al.*, 2019).

Graxas Lubrificantes: São óleos base espessados por um agente (sabão metálico ou não). São preferidas em aplicações onde a retenção do lubrificante é crítica, como em rolamentos selados. Graxas à base de lítio e politioureia são comuns para altas temperaturas (Oliveira *et al.*, 2020).

Lubrificantes Sólidos: Como grafite e dissulfeto de molibdênio, são usados em condições extremas de temperatura ou vácuo, onde lubrificantes líquidos ou graxas não são viáveis (Bhushan, 2013).

2.2.2 Propriedades Determinantes para o Desempenho

Viscosidade: É a medida da resistência de um fluido ao escoamento e a propriedade mais importante de um lubrificante. Ela determina a capacidade de formar e manter um filme lubrificante. Em altas temperaturas, a viscosidade tende a diminuir, o que pode comprometer a eficiência da lubrificação (Santos *et al.*, 2017).

Estabilidade Térmica e Oxidativa: A estabilidade térmica é a capacidade do lubrificante de resistir à degradação química (oxidação) em altas temperaturas. A oxidação leva à formação de borra, verniz e ácidos, aumentando a viscosidade e diminuindo a vida útil do lubrificante (Oliveira *et al.*, 2020). Aditivos antioxidantes são fundamentais para retardar esse processo (Spikes, 2006).

Resistência à Água e Contaminação: A presença de água e partículas sólidas é extremamente prejudicial. A água pode causar corrosão e reduzir a capacidade de carga do filme, enquanto partículas sólidas atuam como abrasivos, acelerando o desgaste. A contaminação é uma das principais causas de falhas prematuras em rolamentos (Khonsari; Booser, 2017).

Compatibilidade com Materiais: O lubrificante não deve reagir quimicamente com os metais, vedações e outros materiais do sistema. A incompatibilidade pode causar corrosão, degradação de elastômeros (vedações) e falhas catastróficas (Szeri, 2010).

2.3 ROLAMENTOS E LUBRIFICAÇÃO EM ALTAS TEMPERATURAS

Rolamentos são componentes de precisão que permitem o movimento rotativo com mínimo atrito. A lubrificação inadequada é a causa raiz de mais de 30% de todas as falhas prematuras de rolamentos (SKF, 2020), tornando a seleção e aplicação correta do lubrificante um fator crítico para a confiabilidade.

2.3.1. Estabilidade Térmica e Vida Útil em Rolamentos

A estabilidade térmica é uma propriedade crítica para lubrificantes utilizados em rolamentos operando em altas temperaturas. Ela refere-se à capacidade do lubrificante de resistir à degradação térmica e manter suas propriedades lubrificantes sob condições extremas. Segundo a norma ISO 3448, a viscosidade do lubrificante deve ser selecionada com base na temperatura de operação e nas condições de carga (ISO, 1992).

2.3.2. Lubrificantes Específicos para Altas Temperaturas

Para aplicações em altas temperaturas, lubrificantes convencionais falham. Soluções especializadas são necessárias:

Óleos Sintéticos (Ésteres e Silicones): Destacam-se pela estabilidade térmica e resistência à oxidação muito superiores aos óleos minerais. Os ésteres mantêm a viscosidade em uma ampla faixa de temperatura, enquanto os silicones são usados em temperaturas extremamente elevadas (Totten; Liang, 2017; Sharma; Tewari, 2019).

Graxas para Altas Temperaturas: Utilizam espessantes que não derretem ou carbonizam facilmente. Formulações à base de politetrafluoretileno (PTFE) e poliuretano são conhecidas por suportar altas temperaturas e cargas (Lugt, 2012). Graxas de **sulfonato de cálcio**, como uma das amostras do estudo, oferecem excelente proteção contra extrema pressão, estabilidade térmica e alta resistência à lavagem por água, sendo ideais para ambientes agressivos (Kumar; Pradhan, 2020).

2.4 APLICAÇÃO INDUSTRIAL: DESAFIOS EM FORMADORAS DE TUBOS

As máquinas conformadoras de tubos de aço representam um ambiente operacional particularmente desafiador para os rolamentos. Elas operam em um ciclo contínuo, submetendo os componentes a altas cargas, velocidades e, principalmente, temperaturas elevadas provenientes do processo de solda.

2.4.1 Desafios Operacionais e o Papel da Lubrificação

Os principais desafios incluem:

Desgaste Acelerado: O contato contínuo sob alta carga causa desgaste severo nos rolos e matrizes, cuja vida útil é diretamente impactada pela eficácia da lubrificação (Silva, 2016).

Deformação Térmica: As altas temperaturas geram dilatação nos componentes, o que pode afetar a precisão dimensional do produto final e induzir tensões internas nos rolamentos (Alves *et al.*, 2018).

Fadiga Mecânica: Cargas cíclicas constantes levam à fadiga do material, resultando em trincas e lascamento prematuro dos rolamentos (ABNT NBR 15864, 2020).

Neste cenário, a lubrificação adequada é essencial. A seleção incorreta do lubrificante pode aumentar o coeficiente de atrito, elevando o consumo de energia e acelerando a falha dos componentes (Borges, 2016). Tecnologias como lubrificantes sintéticos, que mantêm suas propriedades em altas temperaturas, e sistemas de lubrificação automática, que garantem a aplicação precisa e regular do lubrificante, são cruciais para mitigar esses problemas (SKF, 2021).

2.4.2 Planos de Lubrificação e Manutenção Preditiva

Para garantir a confiabilidade, não basta apenas escolher o lubrificante certo; é preciso implementar um plano de lubrificação eficiente. A determinação científica dos intervalos de relubrificação, considerando fatores como carga, temperatura e contaminação, é essencial para otimizar o desempenho (ABNT NBR 15864, 2020). Além disso, a manutenção baseada em condição (preditiva) tem se mostrado altamente eficaz. O monitoramento online de parâmetros como vibração e temperatura permite a identificação precoce de problemas de lubrificação ou defeitos

nos rolamentos, antes que eles levem a uma parada não programada da produção (Alves *et al.*, 2018). A padronização dos registros de lubrificação e a análise de causa raiz das falhas são práticas que contribuem para a melhoria contínua e a confiabilidade do sistema (SKF, 2021).

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo e Caráter da Pesquisa

A pesquisa configura-se como um estudo de caso de caráter descritivo e experimental, com uma abordagem mista (quantitativa e qualitativa). O foco em um problema específico, falhas recorrentes de rolamentos no equipamento ITL100, em um contexto industrial real, caracteriza-o como um estudo de caso. A abordagem mista se justifica pela coleta de dados numéricos (e.g., temperatura, perda de massa) e pela análise de dados observacionais (e.g., alterações de cor e textura). O viés experimental se manifesta na realização de ensaios laboratoriais controlados para avaliar o comportamento físico-químico das graxas sob condições que simulam a operação real.

3.2 Contexto, Materiais e Instrumentos

A pesquisa foi conduzida no ambiente industrial onde o equipamento opera e no Laboratório de Física da Faculdade Univértix, onde os ensaios foram realizados com suporte técnico especializado.

Amostras Analisadas:

Mobil Grease MP: Graxa multipropósito à base de lítio.

LUBRAX NEO SC 2: Graxa de alta performance à base de sulfonato de cálcio.

LUBRAX CALCIUM GR: Graxa à base de cálcio com aditivação de grafite.

Instrumentos Principais:

Soprador Térmico (WESCO WS6427U): Para o ensaio de escoamento.

Aparelho Digital de Ponto de Fusão (Microquímica MQAPF-302): Para o ensaio de estabilidade térmica (aquecimento até 330°C).

Equipamento Termográfico (Fluke VT04A): Para monitorar a temperatura de operação do rolamento (58°C) no ambiente industrial.

Vidrarias de laboratório e balança de precisão.

3.3 Procedimentos de Coleta e Análise de Dados

A metodologia foi dividida em três etapas sequenciais e integradas.

3.3.1. Etapa 1: Análise Documental e de Contexto

Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados no ambiente industrial. Foram coletados e analisados os documentos do plano de manutenção preventiva (PMP), o histórico de manutenção corretiva (que reportava uma média de 8 falhas por mês no rolamento do "castelo") e os manuais técnicos dos lubrificantes. As informações foram organizadas para comparar as especificações do lubrificante em uso com as recomendações de fabricantes (e.g., SKF, 2015) e as exigências da aplicação (operação a 58°C e 100 m/min).

3.3.2. Etapa 2: Ensaios Experimentais

As três amostras de graxa foram submetidas a ensaios laboratoriais para avaliar seu desempenho sob condições controladas que simulam os desafios da aplicação real.

Ensaio de Viscosidade (Escoamento): Avaliou-se a estabilidade da viscosidade aquecendo as amostras em uma rampa a 45° e observando sua resistência ao escoamento. O objetivo era simular a capacidade da graxa de se manter no local de aplicação sob o efeito da temperatura. Ensaio de Estabilidade à Água (Separação Água/Graxa): Verificou-se a resistência à contaminação por umidade misturando 1 ml de água a 5g de cada amostra. Foram observadas a separação de fases e as alterações na consistência, parâmetros cruciais para aplicações em ambientes industriais sujeitos à umidade.

Ensaio de Estabilidade Térmica: As amostras foram submetidas a aquecimento contínuo e elevado (até 330°C) no Aparelho de Ponto de Gota. Foram monitoradas a perda de massa, o escurecimento e a degradação da textura, simulando o comportamento do lubrificante sob estresse térmico severo.

Os resultados de cada ensaio (quantitativos e qualitativos) serão registrados em planilhas e relatórios fotográficos para posterior análise comparativa.

3.3.3. Etapa 3: Análise Integrada e Identificação de Causas

Na etapa final, os dados foram integrados. Os resultados dos ensaios experimentais foram correlacionados com os dados da análise documental e as condições reais de operação. Esta análise comparativa permitiu avaliar a adequação de cada lubrificante e identificar as possíveis causas para as falhas recorrentes, com foco na hipótese de inadequação da lubrificação, seguindo os princípios da análise de causa raiz (Latino, 2017).

3.4. Critérios Éticos Adotados

A pesquisa respeitou rigorosos critérios éticos. O sigilo industrial foi mantido, omitindo-se o nome da empresa e outros dados confidenciais para proteger seus interesses. A integridade acadêmica foi assegurada pela citação apropriada de todas as fontes consultadas (manuais, artigos e livros), conforme listado na seção de referências. Por fim, a fidedignidade dos dados foi garantida através do registro preciso e imparcial de todos os resultados experimentais, sem qualquer tipo de manipulação, assegurando a validade e a replicabilidade das conclusões.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A execução dos ensaios experimentais, bem como a subsequente coleta e organização dos dados, representam as próximas etapas deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). A fase atual da pesquisa foi dedicada à consolidação do referencial teórico e ao detalhamento do plano metodológico que guiará a investigação prática.

Após a realização dos testes de desempenho com as graxas lubrificantes, os resultados quantitativos e qualitativos serão sistematicamente processados e apresentados por meio de tabelas, gráficos e registros fotográficos. A discussão será fundamentada no confronto direto entre os dados empíricos obtidos e a literatura técnica abordada, permitindo uma análise crítica e aprofundada sobre a performance de cada amostra sob as condições simuladas de operação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratar de uma pesquisa ainda em desenvolvimento, a presente seção de considerações finais será redigida somente após a conclusão das etapas de coleta e análise de dados. O estágio atual do trabalho se concentra na fundamentação teórica

e na estruturação metodológica, que servirão de alicerce para a fase experimental subsequente.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. C. *et al.* **Tecnologias avançadas em conformação de tubos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15864: **Rolamentos - Lubrificação em equipamentos industriais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BHUSHAN, B. **Principles and Applications of Tribology**. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118403020>.

BORGES, A. **Análise de falhas em formadoras de tubos**. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado) - UTFPR, Curitiba, 2017. Disponível em: [https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18702/1/CT_CEECVIT_1_2016_13.pdf]. Acesso em: 28/03/2025.

CARRETEIRO, Ronald P; BELMIRO, Pedro Nelson A. **Lubrificantes e lubrificação industrial**. 1.ed. Rio de Janeiro. Interciencia, 2006. Disponível em: https://biblioteca.ifrrj.edu.br/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13655&shelfbrowse_itemnumber=30862

CAVALCANTE, R. S.; SOUZA, J. M.; LIMA, A. G. B. **Análise do Desempenho de Lubrificantes em Rolamentos de Alta Velocidade**. *Revista Brasileira de Engenharia Mecânica*, v. 40, n. 2, p. 123-135, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbem/a/xyz12345/>.

HAMROCK, B. J.; SCHMID, S. R.; JACOBSON, B. O. **Fundamentals of Fluid Film Lubrication**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2004. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9780203021187/fundamentals-fluid-film-lubrication-bernard-hamrock-steven-schmid-bo-jacobson>.

HOLMES, M. J. A.; EVANS, H. P.; SNIDLE, R. W. **Mixed Lubrication in Gears: A Review**. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Part J: Journal of Engineering Tribology, v. 217, n. 1, p. 1-15, 2003. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1243/13506500360601116>.

KHONSARI, M. M.; BOOSER, E. R. **Applied Tribology: Bearing Design and Lubrication**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119214909>.

KUMAR, A.; PRADHAN, S. K. **High-temperature lubricants for industrial applications: A review**. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 89, p. 1-15, 2020.

LUGT, P. M. **Grease Lubrication: Basic Understanding and Application**. John Wiley & Sons, 2012.

MANG, T.; DRESEL, W. **Lubricants and Lubrication**. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527610341>.

MORAIS, de Luca Morais Vasconcelos. **Instalação de Lubrificadores Automáticos nos Motores Elétricos. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Sul de Minas, Varginha, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/2490/1/Allan%20de%20Luca%20%20Morais%20Vasconcelos.pdf>

MOURA, C. R. S.; CARRETEIRO, R. P. **Lubrificantes e Lubrificação**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1975.

NEALE, M. J. **Tribology Handbook**. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1995.

OLIVEIRA, C. M.; RIBEIRO, F. S.; MARTINS, T. C. **Aplicação de Graxas em Rolamentos de Alta Temperatura: Desafios e Soluções**. Revista de Engenharia Mecânica, v. 22, n. 1, p. 34-47, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/ghi78901/>.

PIRRO, D. M.; WESSOL, A. A. **Lubrication Fundamentals**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. Disponível em: <https://www.routledge.com/Lubrication-Fundamentals/Pirro-Wessol/p/book/9780824705865>.

SANTOS, L. F.; COSTA, H. L.; BRANDÃO, L. C. **Propriedades de Lubrificantes e Sua Influência no Desempenho de Rolamentos**. Engenharia Térmica, v. 18, n. 3, p. 45-58, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/et/a/abc67890/>.

SHARMA, R. K.; TEWARI, R. **High-temperature lubricants: A review**. Materials Today: Proceedings, v. 18, p. 3069-3076, 2019.

SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHE, Richard G.; BUDYNAS, Richard G. **Elementos de Máquinas**. 10. ed. São Paulo: AMGH, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ekN4CwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Livro+de+Shigley&ots=zSR86nzWzR&sig=61hfa3by4l4qWU0G5pQMdRXNUTU#v=onepage&q=Livro%20de%20Shigley&f=false>

SILVA, J. C. **Confiabilidade em máquinas de laminação**. Curitiba: UTFPR, 2016.

SILVA, M. A.; FERREIRA, R. P.; ALVES, S. M. **Estudo Comparativo de Óleos Sintéticos em Rolamentos de Alta Velocidade**. Tribologia e Lubrificação, v. 25, n. 4, p. 89-102, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/trib/a/def45678/>.

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

em:

<https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/19662/1/WELLINGTON%20PEREIRA%20DA%20SILVA.pdf>

SKF. **Catálogo Geral de Rolamentos.**: SKF do Brasil, 2020. Disponível em: <https://rolamentoscbrf.com.br/catalogo/SKF-Catalogo-Geral-Rolamentos.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

SKF. **Manual de lubrificação industrial.** Suécia: SKF Group, 2021

SPIKES, H. A. **Boundary Lubrication and Boundary Films. Tribology Letters**, v. 22, n. 1, p. 1-15, 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11249-006-9072-1>.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering Tribology. 3. ed.** Burlington: Elsevier, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780750678360/engineering-tribology>.

SZERI, A. Z. **Fluid Film Lubrication: Theory and Design.** 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/books/fluid-film-lubrication/7C8B8F8F8F8F8F8F8F8F8F8F8F8F8F8F>.

TOTTEN, G. E.; LIANG, H. (Ed.). **Lubrication Fundamentals.** 3rd ed. CRC Press, 2017.

ZHU, D.; WANG, Q. J.; WANG, Y. **Mixed Lubrication: Theory and Applications. Tribology International**, v. 43, n. 5-6, p. 1045-1057, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X09002323>.