

Lubricidade do Diesel - Proteção Essencial para o Sistema de Injeção

Autor: Gilles Laurent Grimberg

Outubro - 2025

Resumo Executivo

A lubricidade é uma propriedade crítica do óleo diesel que determina sua capacidade de lubrificar os componentes de alta precisão do sistema de injeção de combustível. Com a redução drástica do teor de enxofre no diesel (de S500 para S10), a lubricidade natural do combustível foi comprometida, tornando essencial o uso de aditivos melhoradores. Este artigo explica o que é a lubricidade, por que ela é fundamental para a durabilidade do motor, como o processo de dessulfurização a afeta e quais são as soluções para garantir a proteção adequada do sistema de injeção.

1. O Que é Lubricidade?

A lubricidade (ou lubricity, em inglês) é a capacidade de um fluido de reduzir o atrito entre superfícies metálicas em movimento. No contexto do diesel, refere-se especificamente à capacidade do combustível de formar um filme lubrificante protetor nas superfícies internas da bomba de combustível e dos bicos injetores.

Diferentemente dos óleos lubrificantes convencionais, o diesel não foi originalmente projetado para ser um lubrificante. No entanto, nos sistemas de injeção modernos, o diesel cumpre uma dupla função:

- 1 Combustível: Fornece a energia para a combustão.
- 2 Lubrificante: Lubrifica os componentes internos da bomba de alta pressão e dos injetores, que operam com tolerâncias micrométricas e pressões que podem exceder 2.500 bar nos sistemas Common Rail.

2. Por Que a Lubricidade é Importante?

Os sistemas de injeção de diesel são compostos por peças de alta precisão fabricadas com tolerâncias extremamente apertadas. A bomba de alta pressão e os bicos injetores possuem superfícies metálicas que deslizam umas sobre as outras em alta velocidade e sob cargas elevadas. Sem lubrificação adequada, essas superfícies sofrem:

- Desgaste Abrasivo: O atrito metal-metal remove material das superfícies, causando folgas e perda de pressão.

- **Gripagem (Seizing):** Em casos extremos, o atrito pode gerar calor suficiente para soldar as superfícies, travando o componente.
- **Falha Prematura:** A vida útil da bomba e dos injetores é drasticamente reduzida, resultando em custos elevados de manutenção.

A lubricidade inadequada é uma das principais causas de falha em sistemas de injeção modernos, especialmente em motores que operam com diesel de baixa qualidade ou fora de especificação.

3. O Impacto da Dessulfurização na Lubricidade

3.1. O Diesel S500 e Sua Lubricidade Natural

O diesel tradicional (S500), com até 500 ppm de enxofre, possuía lubricidade natural adequada devido à presença de compostos polares em sua composição, incluindo:

- **Compostos de Enxofre:** Moléculas orgânicas contendo enxofre, que têm afinidade com superfícies metálicas e formam filmes protetores.
- **Ácidos Graxos e Ésteres:** Presentes naturalmente no diesel de origem fóssil.

3.2. O Diesel S10 e a Perda de Lubricidade

O processo de hidrodessulfurização (HDS), usado para reduzir o teor de enxofre do diesel para 10 ppm (S10), remove não apenas o enxofre, mas também muitos dos compostos polares responsáveis pela lubricidade. O resultado é um diesel quimicamente mais limpo, mas com lubricidade significativamente reduzida.

Estudos mostram que o diesel S10 não tratado pode ter uma lubricidade até 50% inferior ao diesel S500, colocando em risco os componentes do sistema de injeção.

4. Como a Lubricidade é Medida?

A lubricidade do diesel é medida através de ensaios padronizados que simulam as condições de operação do sistema de injeção. Os dois métodos mais comuns são:

4.1. HFRR (High-Frequency Reciprocating Rig)

O ensaio HFRR (ASTM D6079 ou ISO 12156-1) é o método mais utilizado globalmente. Nele:

- Uma esfera metálica é pressionada contra uma placa metálica imersa no diesel.
- A esfera oscila em alta frequência sobre a placa por um período determinado.

- Após o teste, mede-se o diâmetro da marca de desgaste (WSD - Wear Scar Diameter) deixada na esfera.

Interpretação:

- WSD menor = Melhor lubricidade (menos desgaste)
- WSD maior = Pior lubricidade (mais desgaste)

A especificação brasileira (Resolução ANP N° 968/2024) estabelece um WSD máximo de 460 μm a 60°C para o diesel S10. Na Europa, o limite é mais rigoroso: 460 μm a 60°C (EN 590).

4.2. SLBOCLE (Scuffing Load Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator)

O ensaio SLBOCLE (ASTM D6078) mede a carga necessária para causar gripagem entre uma esfera e um cilindro rotatório. Quanto maior a carga suportada, melhor a lubricidade.

Método	Norma	O Que Mede	Especificação Brasil (S10)
HFRR	ASTM D6079 / ISO 12156-1	Diâmetro da marca de desgaste (WSD)	Máximo 460 μm a 60°C
SLBOCLE	ASTM D6078	Carga de gripagem	Não especificado pela ANP

Tabela 1: Métodos de medição de lubricidade do diesel.

5. Soluções: Aditivos Melhoradores de Lubricidade

Para compensar a perda de lubricidade causada pela dessulfurização, são adicionados ao diesel S10 aditivos melhoradores de lubricidade. Esses aditivos são compostos polares que se aderem às superfícies metálicas, formando um filme protetor.

5.1. Tipos de Aditivos

- Ácidos Graxos: Derivados de óleos vegetais ou animais, são os aditivos mais comuns e eficazes, o melhor exemplo é o biodiesel.
- Ésteres: Compostos sintéticos que oferecem boa lubricidade e estabilidade.
- Amidas e Aminas: Compostos nitrogenados que também melhoram a lubricidade.

5.2. Dosagem

A dosagem típica de aditivos melhoradores de lubricidade é muito baixa, geralmente entre 50 a 300 ppm (partes por milhão). Mesmo em pequenas quantidades, esses aditivos são capazes de restaurar a lubricidade do diesel S10 a níveis aceitáveis.

5.3. Biodiesel como Melhorador Natural

O biodiesel (FAME) possui excelente lubricidade natural devido à presença de ésteres de ácidos graxos em sua composição. A mistura obrigatória de biodiesel no diesel brasileiro (atualmente B15, ou 15% de biodiesel) contribui significativamente para melhorar a lubricidade do diesel S10.

Estudos mostram que a adição de apenas 2% de biodiesel ao diesel S10 pode ser suficiente para atender às especificações de lubricidade.

6. Consequências da Lubricidade Inadequada

- **Desgaste Prematuro da Bomba de Alta Pressão:** A bomba é o componente mais vulnerável, pois opera com pressões extremas.
- **Falha dos Bicos Injetores:** O desgaste pode causar vazamentos internos, prejudicando a pulverização do combustível.
- **Perda de Potência e Aumento de Consumo:** Injetores desgastados não pulverizam o combustível adequadamente, resultando em combustão ineficiente.
- **Custos Elevados de Manutenção:** A substituição de bombas e injetores é cara e pode imobilizar o veículo por dias.

7. Conclusão

A lubricidade é uma propriedade invisível, mas essencial do óleo diesel. A transição para o diesel de baixo enxofre (S10) trouxe enormes benefícios ambientais, mas criou o desafio de garantir a proteção adequada dos sistemas de injeção. A solução está no uso de aditivos melhoradores de lubricidade e na presença do biodiesel na mistura. Para os consumidores, a mensagem é clara: abastecer com diesel de qualidade, de fornecedores confiáveis que garantam a conformidade com as especificações da ANP, é fundamental para proteger o investimento no motor e evitar falhas prematuras.