

CENTRO PAULA SOUSA

FATEC SANTO ANDRÉ

Tecnologia em mecânica automobilística

Adriano Santos Frasão

**PROJETO DE ESTUDOS SOBRE ANÁLISE E COMPORTAMENTO
DO *COMMON RAIL***

Santo André

2026

Adriano Santos Frasão

**PROJETO DE ESTUDOS SOBRE ANÁLISE E COMPORTAMENTO
DO COMMON RAIL**

Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado
ao curso Tecnólogo de Mecânica
Automobilística da FATEC Santo André,
orientado pelo Marco Aurélio Fróes como
requisito parcial para obtenção do título de
tecnólogo em Mecânica Automobilística.

Santo André

2026

FOLHA CATALOGRÁFICA

F842p

Frasão, Adriano Santos

Projeto de estudos sobre análise e comportamento do Common Rail / Adriano Santos Frasso - Santo André, 2026. – 45f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2026.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Frões

1. Mecânica. 2. Veículos. 3. Sistemas veiculares. 4. Tecnologia. 5. Injeção eletrônica. 6. Motor diesel. 7. Common rail. 8. Manutenção. 9. Combustível. 10. Diagnóstico. 11. Projeto. I. Projeto de estudos sobre análise e comportamento do Common Rail.

629.2

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 17 de junho de 2026.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
**“ANÁLISE E COMPORTAMENTO DOS SISTEMAS COMMON
RAIL NOS MOTORES DE CICLO DIESEL”** DO ALUNO DO 6º
SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. MARCO AURELIO FRÓES

MEMBROS:

PROF. ELIEL WELLINGTON MARCELINO

PROF. ORLANDO DE SALVO JÚNIOR

ALUNO:

ADRIANO SANTOS FRASÃO

Dedico este trabalho a meus pais,
esposa, amigos e professores que
ajudaram e apoiaram até o presente
momento

Agradecimento

É de imenso coração que agradeço a cada pessoa que teve participação durante o projeto, agradeço ao meus pais por toda força e incentivo; aos professores por todo ensinamento e práticas ensinadas durante o tempo de curso; aos colegas de curso pelo auxílio e companheirismo; ao professor Fernando Garup Dalbo pela calma, paciência e dedicação; ao professor orientador Marco Aurélio Fróes, pelas mentorias, tempo e assistência; e pôr fim aos amigos que não nos deixaram desistir e sempre incentivaram durante o curso.

“Aperfeiçoamento significa fazer melhor em
2 horas, aquilo que era feito em 8 horas”
FERNANDO SCHEUERMAN

RESUMO

O sistema de injeção eletrônica *Common Rail* representa uma das mais importantes evoluções tecnológicas aplicadas aos motores Diesel, proporcionando maior controle da injeção de combustível, aumento da eficiência energética e redução significativa das emissões de poluentes. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a evolução dos motores Diesel, o desenvolvimento da tecnologia *Common Rail* e os princípios de funcionamento dos sistemas de baixa e alta pressão. Em seguida, foi desenvolvido um estudo de caso em uma Chevrolet S10 equipada com motor Diesel, na qual foram executados procedimentos de diagnóstico eletrônico e manutenção corretiva decorrentes da contaminação do combustível por água. A análise prática permitiu identificar os efeitos da contaminação no sistema de alimentação, bem como avaliar o desempenho da bomba de combustível, dos sensores, dos atuadores e da unidade eletrônica de controle. Além disso, foram monitorados os parâmetros de pressão do *rail* e o comportamento do sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) da válvula dosadora, evidenciando a atuação da ECU (*Electronic Control Unit*) no gerenciamento da pressão de combustível em diferentes condições de funcionamento do motor. Os resultados demonstraram a importância da manutenção preventiva, da utilização de combustível de qualidade e do diagnóstico eletrônico para garantir a confiabilidade, o desempenho e a durabilidade dos sistemas *Common Rail*. Conclui-se que essa tecnologia é fundamental para atender às atuais exigências de eficiência energética, desempenho e controle de emissões nos motores Diesel modernos.

PALAVRAS – CHAVE: Common Rail; Motor Diesel; Injeção Eletrônica; Diagnóstico Automotivo; Pressão do *Rail*; Manutenção Automotiva.

ABSTRACT

The *Common Rail* electronic fuel injection system represents one of the most significant technological advancements applied to Diesel engines, providing greater control over fuel injection, increased energy efficiency, and a substantial reduction in pollutant emissions. Initially, a literature review was conducted on the evolution of Diesel engines, the development of *Common Rail* technology, and the operating principles of low- and high-pressure fuel systems. Subsequently, a case study was carried out on a Chevrolet S10 equipped with a Diesel engine, in which electronic diagnostic procedures and corrective maintenance were performed due to fuel contamination by water. The practical analysis made it possible to identify the effects of contamination on the fuel supply system, as well as to evaluate the performance of the fuel pump, sensors, actuators, and the Electronic Control Unit (ECU). Furthermore, the *rail* pressure parameters and the behavior of the Pulse Width Modulation (PWM) signal of the fuel metering valve were monitored, demonstrating the ECU's role in managing fuel pressure under different engine operating conditions. The results highlighted the importance of preventive maintenance, the use of high-quality fuel, and electronic diagnostics to ensure the reliability, performance, and durability of *Common Rail* systems. It is concluded that this technology is essential for meeting current requirements related to energy efficiency, engine performance, and emission control in modern Diesel engines.

Keywords: *Common Rail*; Diesel Engine; Electronic Fuel Injection; Automotive Diagnostics; *Rail* Pressure; Automotive Maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema de circulação do Diesel Common Rail	21
Figura 2: Veículo Chevrolet S10 em condição de inatividade prolongada, antes do transporte para local de diagnóstico e manutenção corretiva.....	31
Figura 3: Refil da bomba de combustível completa e desmontada.....	32
Figura 4: Veículo estacionado em local aberto.....	33
Figura 5: Tanque de combustível oxidado pela presença de água	33
Figura 6: Combustível contaminado com água removido do tanque.....	34
Figura 7: Bomba de combustível elétrica nova	35
Figura 8: Painel da S10 ligado e pronto para funcionamento.....	36
Figura 9: Motor da S10 em pleno funcionamento	36
Figura 10: Funcionamento em Baixa Pressão.....	37
Figura 11: Funcionamento em alta pressão	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: : Principais especificações técnicas do motor NGD 3.0 Electronic.....	27
Tabela 2: Valores de torque aplicados aos componentes do motor NGD 3.0 Electronic	28
Tabela 3 Plano de prevenção e monitoramento do sistema de alimentação	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GLP – Gás liquefeito de petróleo

PMS – Ponto Morto Superior

ECU – Unidade Eletrônica de Comando

DTC – Código de Falha

PWM – *Pulse Width Modulation* (Modulação por Largura de Pulso)

MPa – Mega Pascal

T-MAP - *Temperature Manifold Absolute Pressure* (Temperatura e Pressão Absoluta do Coletor)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO.....	15
2. HISTORICO DOS MOTORES A DIESEL	17
2.2. EVOLUÇÃO DO MOTOR DIESEL.....	19
2.3. COMMON RAIL	20
2.5. BOMBA DE BAIXA PRESSÃO.....	22
2.6. BOMBA DE ALTA PRESSÃO	22
2.7. SENSORES E ATUADORES DO SISTEMA COMMON RAIL.....	23
2.8. DIAGNÓSTICO ELETRÔNICO DO SISTEMA DIESEL	24
3. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DE MANUTENÇÃO	26
3.1. TORQUES E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	27
4. PRINCIPAIS FALHAS EM SISTEMAS COMMON RAIL	29
4.1. CONTAMINAÇÃO POR ÁGUA NO COMBUSTÍVEL.....	29
4.2. OBSTRUÇÃO DO FILTRO DE COMBUSTÍVEL	29
4.3. DESGASTE DA BOMBA DE ALTA PRESSÃO.....	29
4.4. FALHAS EM INJETORES PIEZOELÉTRICOS.....	29
4.5. ENTRADA DE AR NO SISTEMA.....	30
4.6. FALHAS ELETRÔNICAS	30
5. MANUTENÇÃO	31
6. ANÁLISE COMPORTAMENTAL DO SINAL PWM DA VÁLVULA SOLENOIDE DOSADORA DE COMBUSTÍVEL	37
6.1. LEITURA DA PRESSÃO DO RAIL.....	38
6.2. ANÁLISE TÉCNICA DO DIAGNÓSTICO.....	39
7. PLANO DE PREVENÇÃO E MONITORAMENTO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO.....	41
8. CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos antigos, o ser humano busca formas eficientes de produção e aproveitamento de energia, seja para fins produtivos, comerciais ou para locomoção. A descoberta e posterior exploração do petróleo representaram um ponto fundamental nesse processo, revolucionando a matriz energética mundial e impulsionando o desenvolvimento industrial, tecnológico e econômico. O petróleo é uma fonte de elevada densidade energética, da qual se obtêm diversos derivados essenciais, como gasolina, querosene de aviação, gás liquefeito de petróleo (GLP), óleo combustível e, principalmente, o óleo diesel.

O óleo diesel destaca-se por sua ampla aplicação nos setores de transporte, agrícola, industrial e de geração de energia, sendo o combustível utilizado em motores de ciclo Diesel, reconhecidos por sua elevada eficiência térmica, robustez e durabilidade. Sua relevância estratégica para a economia global torna indispensável o desenvolvimento contínuo de tecnologias capazes de otimizar sua utilização.

A crescente preocupação com a redução das emissões de poluentes e com a melhoria da eficiência energética dos motores foi o principal responsável pela busca e desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas aos sistemas de injeção de combustão direta. Os veículos a diesel, antes equipados com uma bomba de injeção em linha ou rotativa, onde o combustível oriundo do tanque era pressurizado para as válvulas injetoras, pulverizando no interior da câmara de combustão, dão lugar agora a uma nova tecnologia, denominada *Common Rail*. Apresentando-se como uma solução tecnológica, possibilitando maior controle do processo de combustão, melhor aproveitamento do combustível e significativa mitigação dos impactos ambientais associados ao uso do óleo diesel.

Seu desenvolvimento se deu início ao final dos anos 80, com o Centro de Pesquisas Fiat, junto a outras empresas do Grupo, iniciando sua pesquisa com foco total da viabilidade tecnológica do sistema do tipo Unijet. E no início dos anos 90, com o sucesso de sucessíveis testes em motores e veículos, passou-se a fase de industrialização, no ano de 1993. Já em 1997, o Grupo Fiat consegue conceber o primeiro veículo equipado com o turbo diesel, o Alfa 156 1.9 JTD, e, posteriormente,

a Bosch começa a desenvolver seu produto, passando assim a se tornar base para outros sistemas que são adotados até hoje.

O sistema *Common Rail* é composto por uma bomba de alta pressão responsável por alimentar um reservatório pressurizado, denominado *Rail*. Esse componente atua como um acumulador, mantendo o combustível permanentemente sob elevada pressão, pronto para ser distribuído aos injetores conforme a demanda do motor.

O processo de injeção é controlado eletronicamente pela unidade de comando do motor (ECU), que envia sinais aos bicos injetores para permitir a passagem do combustível no instante adequado. Quando ocorre a abertura do injetor, o óleo diesel — submetido a pressões extremamente elevadas, que nos sistemas modernos podem ultrapassar 1.800 bar — é pulverizado diretamente no interior da câmara de combustão, promovendo uma atomização mais eficiente do combustível e favorecendo a qualidade da combustão, o aumento da eficiência energética e a redução das emissões de poluentes (BOSCH, 2005; PULKRABEK, 2004; HEYWOOD, 2018).

A injeção acontece em um momento preciso do ciclo do motor, pouco antes de o pistão atingir o ponto morto superior (PMS), fase em que o ar previamente admitido e comprimido se encontra em temperatura máxima. Nessas condições, ao entrar em contato com o ar aquecido, o combustível sofre autoignição, iniciando o processo de combustão.

A liberação de energia resultante dessa reação provoca a expansão dos gases no interior do cilindro, gerando força suficiente para deslocar o pistão. Esse movimento é então transmitido ao conjunto mecânico do motor, convertendo a energia térmica produzida pela combustão em energia mecânica, permitindo assim o funcionamento do motor.

1.1 Objetivo

O presente projeto propõe o estudo e a execução de protocolos de manutenção e ensaios comportamentais e técnicos em um motor de combustão interna ciclo Diesel

2.8L. O foco reside no estudo comportamental do motor ciclo Diesel, analisando o seu estado quando posto em alta pressão e em baixa pressão, garantindo a eficiência operacional e a integridade do veículo.

1.2 Objetivo específico

O objetivo específico deste trabalho foi compreender o funcionamento do sistema Common Rail, identificar seus principais componentes, analisar as falhas causadas pela contaminação do combustível, realizar procedimentos de diagnóstico eletrônico e avaliar o comportamento da pressão do Rail e do sinal PWM durante o funcionamento do motor. A motivação surgiu pela crescente utilização dessa tecnologia nos motores Diesel modernos e pela necessidade de aprofundar conhecimentos em diagnóstico e manutenção, utilizando como estudo de caso uma Chevrolet S10 com falha causada pela presença de água no combustível. Dessa forma, foi possível unir teoria e prática, demonstrando a importância da manutenção preventiva e do diagnóstico eletrônico para garantir o desempenho e a confiabilidade do sistema.

1.3 Motivação

A motivação deste trabalho surgiu da crescente utilização do sistema *Common Rail* nos motores Diesel modernos e da necessidade de aprofundar os conhecimentos sobre seu funcionamento, diagnóstico e manutenção. Além disso, a realização de um estudo de caso em uma Chevrolet S10 possibilitou aplicar os conceitos teóricos na prática, evidenciando a importância da manutenção preventiva e do diagnóstico eletrônico para garantir o desempenho, a confiabilidade e a durabilidade do sistema.

2. HISTORICO DOS MOTORES A DIESEL

O desenvolvimento do motor diesel representa um grande impacto na história da engenharia mecânica e da evolução dos sistemas de propulsão utilizados em veículos e máquinas industriais. Foi no dia 10 de agosto de 1883 que o primeiro motor desenvolvido segundo o ciclo diesel operou com eficiência, graças ao engenheiro alemão Rudolf Diesel, na Alemanha. Em homenagem ao seu criador, o equipamento passou a ser denominado motor diesel (HEYWOOD, 2018).

Alguns anos após sua criação, o motor foi apresentado oficialmente ao público durante a *Exposition Universelle* de 1898, realizada em Paris. Na ocasião, o protótipo desenvolvido por Diesel utilizava como combustível óleo de amendoim, um tipo de biocombustível, demonstrando desde o início o potencial do motor para operar com combustíveis de origem vegetal (KNOTHE; VAN GERPEN; KRAHL, 2015).

Os primeiros motores do ciclo diesel utilizavam sistemas de injeção indireta, nos quais o combustível era pulverizado por meio de uma bomba injetora e conduzido através das válvulas injetoras para uma pré-câmara de combustão localizada antes da câmara principal. Nesse processo, a mistura era parcialmente queimada na pré-câmara e posteriormente transferida para a câmara de combustão principal, onde ocorria a combustão completa. Esses motores eram capazes de operar com diferentes tipos de combustíveis, incluindo petróleo filtrado, óleos vegetais e até mesmo óleo de peixe (LORA; VENTURINI, 2012).

Entre 1911 e 1912, Rudolf Diesel destacou o potencial dos combustíveis de origem vegetal para alimentar seus motores, afirmando:

“O motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo. O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante hoje em dia, mas com o tempo tornar-se-ão tão importantes quanto o petróleo e o carvão são atualmente.” (DIESEL, 1912 apud KNOTHE; VAN GERPEN; KRAHL, 2015).

Historicamente, um dos primeiros usos significativos de óleo vegetal como combustível ocorreu em uma frota de veículos pesados na África do Sul, antes da Segunda Guerra Mundial. Posteriormente, durante a década de 1940, pesquisadores de diversos países voltaram a estudar combustíveis alternativos derivados de óleos

vegetais, principalmente devido à necessidade de produção de glicerina, utilizada na fabricação de explosivos durante o período de guerra (DEMIRBAS, 2009).

Após a morte de Rudolf Diesel, a indústria petrolífera desenvolveu um combustível derivado do petróleo especialmente destinado aos motores de ignição por compressão, denominado óleo diesel. Esse combustível apresentou vantagens econômicas significativas devido à abundância de petróleo e ao baixo custo de seus derivados na época. Consequentemente, o uso de óleos vegetais como combustível foi gradualmente abandonado, afastando-se da concepção original idealizada por Diesel, que previa um motor capaz de funcionar com combustíveis agrícolas produzidos localmente (HEYWOOD, 2018).

Durante grande parte do século XX, a ampla disponibilidade de combustíveis fósseis consolidou o uso do diesel mineral. Entretanto, fatores como conflitos internacionais envolvendo petróleo, crises energéticas e a crescente preocupação com questões ambientais e emissões de gases de efeito estufa reacenderam o interesse por combustíveis renováveis. Nesse contexto, o desenvolvimento de biocombustíveis derivados de óleos vegetais voltou a ganhar destaque como alternativa energética sustentável (DEMIRBAS, 2009).

Dessa forma, a busca por fontes renováveis de energia, aliada à necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e promover o desenvolvimento rural, contribuiu para o ressurgimento do interesse pela produção e utilização de óleos vegetais como combustível em motores diesel. Essa perspectiva retoma, em grande medida, a visão original de Rudolf Diesel sobre o papel estratégico dos combustíveis agrícolas no desenvolvimento econômico e energético de diferentes países (KNOTHE; VAN GERPEN; KRAHL, 2015).

2.2. Evolução do motor diesel

Nas primeiras décadas do século XX, os motores diesel passaram a ser amplamente empregados em aplicações industriais, marítimas e ferroviárias, devido à sua elevada eficiência energética, robustez mecânica e baixo consumo específico de combustível.

De acordo com Ferguson e Kirkpatrick (2016), esses motores apresentavam maior durabilidade e melhor aproveitamento energético quando comparados aos motores de ignição por centelha, o que favoreceu sua expansão em diferentes setores produtivos.

Inicialmente, os sistemas de alimentação de combustível eram predominantemente mecânicos, compostos por bombas injetoras responsáveis por pressurizar o combustível e enviá-lo diretamente para as válvulas injetoras. Esses sistemas, embora eficientes para a época, possuíam limitações quanto ao controle preciso da quantidade e do momento da injeção, fatores fundamentais para o desempenho e a eficiência do motor (BOSCH, 2005).

Ao longo do século XX, diversas melhorias foram introduzidas nos sistemas de injeção diesel. Entre essas evoluções destacam-se os sistemas de **injeção indireta**, nos quais o combustível era injetado em uma pré-câmara de combustão, e posteriormente os sistemas de **injeção direta**, nos quais o combustível passou a ser pulverizado diretamente na câmara principal. Segundo Heywood (2018), a adoção da injeção direta proporcionou melhor eficiência térmica, maior potência específica e redução no consumo de combustível.

A partir da década de 1970, fatores econômicos e ambientais começaram a influenciar significativamente o desenvolvimento tecnológico dos motores diesel. As crises internacionais do petróleo e o aumento das preocupações ambientais estimularam pesquisas voltadas à melhoria da eficiência energética e à redução das emissões de poluentes. Nesse contexto, os fabricantes passaram a investir em sistemas de injeção mais sofisticados, capazes de oferecer maior precisão no controle do processo de combustão (Ferguson; Kirkpatrick, 2016).

Durante as décadas de 1980 e 1990, a incorporação de sistemas eletrônicos na gestão do motor representou um avanço significativo na tecnologia diesel. Sensores e unidades eletrônicas de controle passaram a monitorar diversos parâmetros de funcionamento do motor, permitindo ajustes mais precisos na injeção de combustível. Essa evolução tecnológica abriu caminho para o desenvolvimento do sistema *Common Rail*, considerado um dos avanços mais importantes na história dos motores diesel (BOSCH, 2005).

2.3. Common Rail

O conceito moderno do sistema *Common Rail* começou a ser desenvolvido no final da década de 1980 pelo centro de pesquisas da empresa Fiat. Após diversos estudos e testes de viabilidade tecnológica, o sistema entrou em fase de industrialização no início da década de 1990. Posteriormente, a empresa Robert Bosch GmbH adquiriu a tecnologia e realizou melhorias significativas, tornando-a adequada para produção em larga escala (BOSCH, 2005).

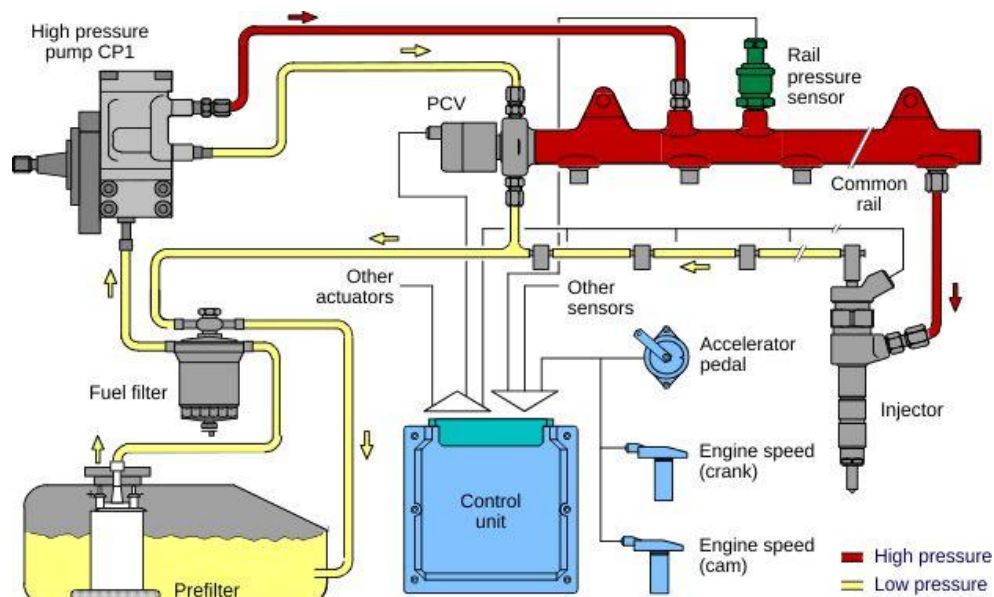
A introdução comercial do sistema ocorreu em 1997 com o lançamento do veículo Alfa Romeo 156, equipado com motor 1.9 JTD, considerado um dos primeiros automóveis de produção a utilizar a tecnologia *Common Rail*. Esse sistema inovador permitiu maior controle da injeção de combustível, contribuindo para ganhos expressivos de eficiência, desempenho e redução das emissões de poluentes (PULKRABEK, 2004).

O sistema *Common Rail* caracteriza-se pela presença de um reservatório comum de combustível pressurizado, denominado *Rail*, que alimenta todos os injetores do motor. Uma bomba de alta pressão envia o combustível para esse acumulador, mantendo-o sob pressão constante, que pode atingir valores superiores a 1800 bar nos sistemas modernos. A partir desse reservatório, a unidade de controle eletrônico do motor determina o momento e a quantidade exata de combustível a ser injetada em cada cilindro, como demonstra na figura 1 (HEYWOOD, 2018).

Essa tecnologia permite realizar múltiplas injeções em um único ciclo de combustão, o que melhora a atomização do combustível, reduz o ruído do motor e contribui para a diminuição das emissões de gases poluentes. Dessa forma, o sistema

Common Rail representa um marco no desenvolvimento dos motores diesel, tornando-os mais eficientes, econômicos e ambientalmente adequados às normas internacionais de emissões (BOSCH, 2005; FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

Figura 1: Esquema de circulação do Diesel Common Rail



Fonte: ADILUB. Como funciona o sistema Common Rail. Disponível em: <https://adilub.pt/sistema-common-rail/>

2.4. Funcionamento do Common Rail

O sistema *Common Rail* é uma tecnologia moderna de injeção utilizada em motores diesel que possibilita maior controle sobre o processo de combustão. Diferentemente dos sistemas convencionais, nos quais a geração de pressão e a injeção ocorrem simultaneamente na bomba injetora, o *Common Rail* separa essas duas funções, permitindo maior precisão no controle da quantidade e do momento da injeção de combustível (BOSCH, 2005).

Nesse sistema, o combustível é retirado do tanque por meio de uma bomba de baixa pressão, passando por filtros responsáveis pela remoção de impurezas. Em seguida, o combustível é enviado para uma bomba de alta pressão, que eleva a

pressão do diesel para valores que podem variar aproximadamente entre 300 e 1800 bar, dependendo das condições de funcionamento do motor (PULKRABEK, 2004).

Após ser pressurizado, o combustível é armazenado em um reservatório comum denominado *Rail*, que mantém o diesel sob pressão constante e o distribui para as válvulas injetoras de combustível. O funcionamento do sistema é controlado por uma unidade eletrônica de comando do motor (ECU), que monitora parâmetros como rotação, carga e temperatura do motor, determinando o momento e a quantidade exata de combustível a ser injetada (FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

As válvulas injetoras eletrônicas liberam o combustível diretamente na câmara de combustão, permitindo uma pulverização mais fina e eficiente. Esse processo melhora a mistura entre o ar comprimido e o combustível, aumentando a eficiência da combustão, reduzindo o consumo de diesel e diminuindo a emissão de poluentes, características que tornaram o sistema *Common Rail* amplamente utilizado nos motores diesel modernos (HEYWOOD, 2018).

2.5. Bomba de baixa pressão

A bomba de baixa pressão, um dos componentes fundamentais do *common rail*, é uma bomba de combustível da linha a diesel que possui por finalidade o fornecimento contínuo de combustível, desde o tanque até a bomba de alta pressão, mantendo a alimentação constante do combustível pressurizado e sem a formação de bolhas de ar. Esta bomba opera com pressão razoavelmente baixa, em torno de 2,5 a 5 bar, o que é seguramente capaz de gerar o fluxo constante de combustível sem ocorrer falhas.

2.6. Bomba de alta pressão

A bomba de alta pressão é responsável por comprimir o combustível e enviá-lo ao *Common Rail* com pressão suficiente para que ele seja pulverizado adequadamente no interior da câmara de combustão. Diferentemente dos sistemas convencionais de injeção mecânica, sua principal função consiste exclusivamente na geração da alta pressão necessária ao sistema, mantendo o combustível armazenado no *Rail* para posterior distribuição aos injetores, sob o gerenciamento da unidade eletrônica de comando (ECU) (BOSCH, 2005; HEYWOOD, 2018).

Essa bomba é constituída por elementos bombeadores dispostos radialmente, normalmente espaçados a 120° entre si, que operam de forma pulsante para garantir o fornecimento contínuo de combustível pressurizado. Como sua função é apenas gerar pressão, não há necessidade de sincronismo direto com o tempo de injeção do motor, podendo seu acionamento ser realizado por correia dentada, engrenagens ou outros sistemas de acoplamento mecânico. O momento e a quantidade de combustível injetado são determinados eletronicamente pela ECU, enquanto a bomba mantém a pressão necessária para o correto funcionamento do sistema *Common Rail* (PULKRABEK, 2004; BOSCH, 2005; FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

A bomba de alta pressão opera acionada mecanicamente pelo motor, podendo atingir elevadas rotações de trabalho, conforme as condições de funcionamento do veículo. Seu projeto é dimensionado para fornecer o volume e a pressão de combustível necessários às diferentes demandas do motor, mantendo o suprimento adequado ao sistema *Common Rail*. Em determinadas condições de baixa solicitação, a unidade eletrônica de comando (ECU) controla a válvula dosadora para reduzir o volume de combustível comprimido, diminuindo o esforço mecânico da bomba, o aquecimento do combustível e as perdas energéticas. Em condições de elevada carga e rotação do motor, a bomba passa a fornecer maior vazão de combustível para atender à demanda do sistema, mantendo a pressão especificada no *Rail* (BOSCH, 2005; HEYWOOD, 2018; FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

Para reduzir o esforço mecânico e o aquecimento do diesel, a ECU utiliza um solenoide para desativar elementos da bomba em baixa demanda; já em plena carga, o sistema prioriza o fluxo total, chegando a consumir vários cavalos de potência do motor.

2.7. Sensores e atuadores do sistema common rail

O sistema *Common Rail* utiliza sensores e atuadores eletrônicos controlados pela ECU para gerenciar a injeção de combustível de forma precisa. Entre os principais sensores destacam-se o sensor T-MAP (*Temperature Manifold Absolute Pressure*), sensor de rotação, sensor de fase, sensor de temperatura do combustível e sensor de temperatura do líquido de arrefecimento.

- **Sensor T-MAP:** Monitora a pressão e na temperatura do ar que o motor está admitindo.
- **Sensor de Rotação:** Informa a velocidade exata em que o eixo-árvore se movimenta.
- **Sensor de Fase:** Monitora a posição do eixo comando de válvulas para garantir o sincronismo.
- **Sensores de Temperatura (Água e Combustível):** Ajudam a ajustar o volume da injeção conforme o motor esquentar e o diesel muda de densidade.

Os atuadores mais importantes são os injetores piezoelétricos e a válvula reguladora de pressão da bomba de alta pressão. Esses componentes permitem maior eficiência de combustão, redução de emissões e melhor desempenho do motor.

2.8. Diagnóstico eletrônico do sistema diesel

Em tempos remotos, achar um defeito exigia desmontar boa parte do motor, porém, com a alta complexidade do *Common Rail*, o diagnóstico eletrônico tornou-se indispensável. A ECU atua como um supervisor permanentemente: se a pressão do *Rail*, o tempo de injeção ou a temperatura fugirem do padrão programado, ela acende um alerta e grava um código de falha (DTC) na memória.

Embora o sistema eletrônico seja capaz de registrar códigos de falha e monitorar continuamente os parâmetros de funcionamento do motor, o veículo não realiza o diagnóstico de forma autônoma. A interpretação dos dados obtidos por meio do *scanner* deve ser associada ao conhecimento técnico e à experiência do profissional, evitando a substituição desnecessária de componentes em perfeito estado de funcionamento. Durante o diagnóstico eletrônico, é possível monitorar em tempo real diversos parâmetros do motor, como pressão do *Common Rail*, rotação, temperatura, tempo de injeção, sinais dos sensores e atuação dos componentes eletrônicos, possibilitando uma identificação mais precisa das falhas do sistema (BOSCH, 2005; FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016; HEYWOOD, 2018)

- Queda de pressão na linha de alimentação de combustível.
- Água misturada no tanque de diesel.
- Injetores travados ou com retorno excessivo.
- Filtro de combustível saturado.

- Sensores com leitura falha.
- Ar entrando nas tubulações.
- Desgaste interno da bomba de alta pressão.

No estudo realizado durante o processo de manutenção da Chevrolet S10, observou-se a presença de contaminação por água presente no tanque de combustível.

2.9. Materias e métodos

Este trabalho tem como objetivo a pesquisa aplicada por meio de revisão bibliográfica e estudo de caso realizada por meio de livros, artigos científicos, manuais técnicos e publicações de fabricantes, com o objetivo de fundamentar os conceitos relacionados aos motores Diesel, à evolução dos sistemas de injeção eletrônica e ao funcionamento da tecnologia *Common Rail*.

Na etapa prática, foi desenvolvido um estudo de caso utilizando uma caminhonete Chevrolet S10 equipada com motor Diesel, que apresentava falhas decorrentes da contaminação do combustível por água. Foram executados procedimentos de diagnóstico eletrônico por meio de scanner automotivo, inspeção dos componentes do sistema de alimentação, remoção e limpeza do tanque de combustível, substituição da bomba elétrica de combustível e realização de testes de funcionamento após a manutenção corretiva.

Durante os ensaios, foram monitorados os parâmetros de pressão do *Common Rail* e o comportamento do sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) da válvula dosadora de combustível, permitindo avaliar a atuação da unidade eletrônica de comando (ECU) em diferentes condições de funcionamento do motor. Os resultados obtidos foram comparados às especificações técnicas do fabricante, possibilitando a análise do desempenho do sistema antes e após a intervenção mecânica.

3. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DE MANUTENÇÃO

Os procedimentos de manutenção em motores Diesel *Common Rail* exigem elevado nível de limpeza, precisão técnica e respeito às especificações estabelecidas pelos fabricantes. Devido às altas pressões de trabalho e à sensibilidade dos componentes eletrônicos e hidráulicos, pequenas partículas contaminantes podem comprometer significativamente o funcionamento do sistema.

Durante os processos de manutenção, recomenda-se a realização prévia de limpeza completa dos componentes utilizando água aquecida, desengraxantes químicos e secagem com ar comprimido, garantindo a desobstrução total das galerias de óleo e combustível.

A inspeção visual dos componentes deve verificar:

- trincas;
- deformações;
- corrosão;
- desgaste excessivo;
- presença de oxidação;
- obstruções internas.

Além disso, devem ser realizadas medições de folgas, inspeções dimensionais e verificações de torque conforme especificações técnicas do fabricante.

Nos procedimentos executados no veículo Chevrolet S10 objeto deste estudo, foi necessária a remoção completa do tanque de combustível devido à contaminação causada pela infiltração de água. Após a drenagem do combustível contaminado, realizou-se a limpeza integral do reservatório e a substituição da bomba elétrica de combustível.

A bomba nova foi submetida previamente a testes de acionamento elétrico e verificação da capacidade de pressurização antes de sua instalação definitiva no veículo.

Em sistemas *Common Rail*, recomenda-se ainda:

- substituição periódica dos filtros de combustível;
- utilização de combustível de qualidade;
- inspeção das tubulações de alta pressão;
- verificação da estanqueidade do sistema;
- realização de testes de retorno dos injetores;
- monitoramento da pressão do *rail* via *scanner* automotivo.

Esses procedimentos são essenciais para garantir a durabilidade, confiabilidade e eficiência operacional do sistema Diesel.

3.1. Torques e especificações técnicas

A correta aplicação dos torques de aperto constitui um fator fundamental para garantir a integridade estrutural e o funcionamento adequado dos componentes do motor Diesel *Common Rail*. O aperto incorreto pode provocar vazamentos, deformações, fadiga mecânica e falhas prematuras dos componentes.

Os fabricantes estabelecem valores específicos de torque para cada componente do motor, considerando características como material, diâmetro do parafuso, esforço mecânico e condições térmicas de funcionamento.

Entre alguns exemplos de especificações técnicas observadas no motor NGD 3.0 Electronic destacam-se, conforme descrito na Tabela 1:

Tabela 1: : Principais especificações técnicas do motor NGD 3.0 Electronic

COMPONENTE	ESPECIFICAÇÃO
Potência máxima	163 cv a 3800 rpm
Torque máximo	380 Nm entre 1600–2200 rpm
Sistema de injeção	Common Rail eletrônico
Pressão de óleo em marcha lenta	2,5–3,5 bar
Temperatura operacional	86–102 °C
Rotação máxima	4640 rpm

Fonte: Adaptado de: MWM INTERNATIONAL MOTORES. *Apostila de Treinamento – Motor NGD 3.0 E*. 2008.

Alguns torques importantes utilizados nos procedimentos de montagem, de acordo com a Tabela 2, são:

Tabela 2: Valores de torque aplicados aos componentes do motor NGD 3.0 Electronic

TORQUE	COMPONENTE
Parafusos da biela	20 Nm + 130°
Parafusos do cabeçote	50–55 Nm + 90° + 180°
Tubos de alta pressão	25–28 Nm
Bomba de combustível	45–50 Nm

Fonte: Adaptado de: MWM INTERNATIONAL MOTORES. Apostila de Treinamento – Motor NGD 3.0 E. 2008.

O cumprimento rigoroso dessas especificações assegura a correta vedação dos componentes, evita deformações estruturais e contribui diretamente para a durabilidade e confiabilidade do motor.

4. PRINCIPAIS FALHAS EM SISTEMAS COMMON RAIL

Os sistemas *Common Rail* operam sob elevadas pressões de injeção e possuem componentes fabricados com tolerâncias dimensionais extremamente reduzidas, características que proporcionam elevada precisão no controle da injeção de combustível. Entretanto, essas mesmas características tornam o sistema altamente sensível à presença de impurezas, água e partículas contaminantes no combustível, bem como à ausência de manutenção preventiva, fatores que podem comprometer o desempenho, a confiabilidade e a vida útil de seus componentes (BOSCH, 2005; HEYWOOD, 2018; FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

Entre as principais falhas encontradas nesse sistema destacam-se:

4.1. Contaminação por água no combustível

A presença de água no óleo diesel provoca corrosão interna, oxidação dos componentes metálicos e comprometimento da lubrificação da bomba de alta pressão e dos injetores. Em casos severos, pode ocorrer travamento da bomba elétrica de combustível e danos permanentes ao sistema de alimentação.

4.2. Obstrução do filtro de combustível

Filtros saturados reduzem o fluxo de combustível, ocasionando perda de pressão no *Rail*, falhas de funcionamento e dificuldade de partida.

4.3. Desgaste da bomba de alta pressão

A bomba de alta pressão trabalha sob elevadas cargas mecânicas e térmicas. A utilização de combustível contaminado ou com baixa lubricidade pode provocar desgaste prematuro dos elementos bombeadores.

4.4. Falhas em injetores piezoelétricos

Os injetores podem apresentar:

- retorno excessivo;
- travamento;
- vazamentos internos;
- falhas de pulverização.

Essas irregularidades comprometem a combustão e aumentam o consumo de combustível e as emissões de poluentes.

4.5. Entrada de ar no sistema

A presença de ar nas tubulações provoca instabilidade na pressão do combustível, dificultando a partida e comprometendo o funcionamento do motor.

4.6. Falhas eletrônicas

Problemas em sensores, chicotes elétricos ou na ECU podem gerar leituras incorretas e estratégias inadequadas de injeção.

No caso estudado neste trabalho, a principal falha observada foi a contaminação do combustível por água, ocasionada pela exposição inadequada do tanque ao ambiente externo. Essa condição provocou oxidação severa da bomba elétrica de combustível e comprometimento operacional do sistema de alimentação do veículo.

5. MANUTENÇÃO

O processo de manutenção do veículo S10 iniciou-se conforme a Figura 2, locomovendo-o até o local destinado à execução dos serviços de reparação. Foi realizada uma inspeção inicial com o objetivo de avaliar as condições gerais do veículo, tais como as condições estéticas ao qual ele chegara, possíveis objetos pertencentes a unidade, todos os componentes funcionais, bem como identificar a fonte da falha relatada. Em sequência, procedeu-se à etapa de diagnóstico, onde a falha apresentada era o não funcionamento do veículo.

Figura 2: Veículo Chevrolet S10 em condição de inatividade prolongada, antes do transporte para local de diagnóstico e manutenção corretiva.



Fonte: Autoria própria.

A partir das análises efetuadas, foi possível estabelecer um plano de manutenção corretiva, bem como a separação dos materiais e componentes que necessitariam de substituição. Durante a inspeção veicular prévia, fora identificado o defeito pré-existente, sendo este a bomba eletrônica de combustível o principal causador da falha do veículo, impedindo assim o seu funcionamento. Após a retirada da bomba de combustível, foi detectada o defeito no conjunto completo da bomba de combustível devido a oxidação do refil da bomba, e com a mistura de ar, água e combustível, todo o conjunto sofreu grandes avarias, tornando todo o conjunto incapaz de ser reutilizado, conforme a Figura 3.

Figura 3: Refil da bomba de combustível completa e desmontada



Fonte: Autoria própria.

O sistema de alimentação de combustível do veículo apresentava irregularidades decorrentes da exposição inadequada do tanque de combustível ao ambiente externo. Durante a inspeção técnica, constatou-se que a bomba elétrica de combustível se encontrava travada em razão da oxidação de seus componentes internos, comprometendo seu funcionamento operacional.

Verificou-se, ainda, que o tanque de combustível permanecia aberto e sem a devida vedação, permitindo a entrada de agentes contaminantes externos, tais como partículas sólidas, resíduos diversos e água pluvial, como mostrado na Figura 4. Considerando que o veículo estava armazenado em área descoberta e exposto diretamente às intempéries climáticas, houve infiltração de água proveniente das chuvas, ocasionando a contaminação do combustível armazenado e de todo o sistema interno do reservatório.

Figura 4: Veículo estacionado em local aberto



Fonte: Autoria própria.

A presença de água no combustível favorece processos de corrosão, oxidação e degradação dos componentes metálicos e elétricos do sistema de alimentação, podendo provocar falhas no funcionamento da bomba de combustível, obstrução de componentes, redução da eficiência operacional do motor e comprometimento da durabilidade do sistema. Dessa forma, pode-se concluir que as condições inadequadas de armazenamento e conservação do veículo contribuíram diretamente para os danos identificados no conjunto de alimentação de combustível, como demonstrado na Figura 5.

Figura 5: Tanque de combustível oxidado pela presença de água



Fonte: Autoria própria.

O procedimento de reparo iniciou-se com a remoção completa do tanque de combustível, tendo em vista a grande quantidade de água no combustível diesel armazenado. Inicialmente, realizou-se a drenagem total do combustível contaminado presente, visando remover os agentes que poderiam comprometer o funcionamento adequado do sistema, como é demonstrado na Figura 6.

Figura 6: Combustível contaminado com água removido do tanque



Fonte: Autoria própria.

A remoção do combustível contaminado era essencial para evitar danos aos componentes do sistema, tais como bomba elétrica de combustível, filtro de diesel, *Common Rail* e demais dispositivos sensíveis à presença de água e partículas contaminantes, observando-se que a presença de água no combustível não permite o funcionamento adequado do veículo.

Após a realização dos procedimentos de descontaminação e limpeza do reservatório de combustível, procedeu-se à substituição da bomba elétrica de combustível. Antecedendo à instalação, a bomba de combustível foi submetida a testes de acionamento elétrico, objetivando a verificação de sua integridade operacional, capacidade de pressurização e conformidade com os parâmetros

técnicos de funcionamento especificados pelo fabricante. Constatada a plena eficiência do componente, efetuou-se sua instalação do conjunto, seguida da remontagem do tanque de combustível na carroceria do veículo, conforme demonstrado na Figura 7, o modelo da nova bomba de combustível. Técnica dos elementos associados. Finalizada essa etapa, o sistema apresentou condições adequadas para a continuidade dos procedimentos de recuperação e reestabelecimento operacional do veículo.

Figura 7: Bomba de combustível elétrica nova



Fonte: Autoria própria.

Após a conclusão de todos os procedimentos de manutenção corretiva e da reinstalação do tanque de combustível, realizou-se o seu abastecimento com combustível novo, livre de contaminações e em conformidade com as especificações técnicas e parâmetros de qualidade estabelecidos pelo fabricante do veículo. A substituição integral do combustível contaminado. Após esta etapa, foram executados os procedimentos de pressurização do sistema e testes operacionais de funcionamento, possibilitando o acionamento do motor e a verificação das condições de operação do veículo. Os testes realizados confirmaram o restabelecimento adequado do sistema de alimentação, assegurando condições satisfatórias de

funcionamento, desempenho e confiabilidade operacional, como pode-se observar nas Figura 8 e Figura 9.

Figura 8: Painel da S10 ligado e pronto para funcionamento



Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Motor da S10 em pleno funcionamento



Fonte: Autoria própria.

6. ANÁLISE COMPORTAMENTAL DO SINAL PWM DA VÁLVULA SOLENOIDE DOSADORA DE COMBUSTÍVEL

Durante a análise realizada por meio do scanner automotivo, observou-se o funcionamento da válvula de controle de pressão do combustível do sistema *Common Rail*, comandada eletronicamente pela ECU através do sinal *Pulse Width Modulation* (PWM). O monitoramento demonstrou a variação simultânea entre o percentual de acionamento da válvula e a pressão existente no *Rail* de combustível, conforme Figura 10.

Figura 10: Funcionamento em Baixa Pressão



Fonte: Autoria própria.

No procedimento analisado, verificou-se pressão aproximada de 32,65 MPa com acionamento PWM de 38,4%, enquanto em outro momento a pressão elevou-se para aproximadamente 61,61 MPa, com redução do PWM para cerca de 32,2%, observado na Figura 11. Essa variação demonstra o gerenciamento eletrônico contínuo realizado

pela unidade de comando do motor, responsável por controlar a quantidade de combustível admitida pela bomba de alta pressão.

Figura 11: Funcionamento em alta pressão



Fonte: Autoria própria.

O comportamento observado evidencia o funcionamento dinâmico do sistema *Common Rail*, no qual a ECU ajusta constantemente o acionamento da válvula dosadora de combustível conforme a necessidade operacional do motor, levando em consideração parâmetros como rotação, carga e demanda de torque.

6.1. Leitura da pressão do Rail

Condição de Marcha Lenta

- **Rotação do Motor:** ~760 RPM

- **Pressão Common Rail Real:** ~33.00 MPa (aprox. 330 Bar)
- **Pressão Common Rail Ideal:** ~32.64 MPa
- **PWM da Válvula Dosadora:** 37.6% a 38.0%

Condição de Aceleração (Picos durante as "aceleradas"):

- **Rotação do Motor:** Sobe para picos entre 2300 e 3099 RPM.
- **Pressão Common Rail Real:** Sobe rapidamente para a casa dos **94.00 a 102.87 MPa** (aprox. 940 a 1028 Bar).
- **Pressão Common Rail Ideal:** Acompanha a exigência subindo também para a casa dos 95 a 100 MPa.
- **PWM da Válvula Dosadora:** Cai para a faixa de **32.7% a 35.3%**

Os valores registrados demonstram o comportamento esperado do sistema *Common Rail*, no qual a unidade eletrônica de comando (ECU) ajusta continuamente a pressão do combustível e o acionamento da válvula dosadora em função da rotação e da carga do motor, garantindo o fornecimento adequado de combustível em diferentes condições de operação (BOSCH, 2005; HEYWOOD, 2018; FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016).

6.2. Análise Técnica do Diagnóstico

- **Acompanhamento da Pressão:** A "Pressão *Common Rail*" (pressão real lida pelo sensor no rail) acompanha muito de perto a "Pressão Common Rail Ideal" o objetivo que a central calculou que o motor precisa naquele momento. Isso indica que a bomba de alta, os injetores (sem retorno excessivo) e a própria válvula reguladora estão em bom estado, conseguindo atingir e manter a pressão exigida.
- **A Dinâmica do PWM:** Neste sistema específico, notamos uma relação inversa durante a aceleração. Quando o acelerador é solicitado, a central exige um aumento drástico de pressão (de 330 bar para mais de 1000 bar). Para que a bomba de alta consiga gerar essa pressão, o sinal PWM da válvula dosadora diminui de ~38% para ~33%.

- **Isso significa fisicamente:** Dependendo do projeto da válvula (normalmente aberta ou normalmente fechada), essa queda no ciclo de trabalho (*Duty Cycle*) altera o campo magnético da bobina, mudando a posição do êmbolo interno. Neste caso, a redução do PWM faz com que a válvula permita que um volume maior de combustível seja comprimido pela bomba de alta (ou que menos combustível retorne ao tanque), resultando no pico de pressão necessário para a aceleração. Assim que a rotação cai, o PWM sobe novamente para ~38%, aliviando o sistema e estabilizando a pressão de volta nos 33 MPa da marcha lenta.

7. PLANO DE PREVENÇÃO E MONITORAMENTO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

Com base nos resultados obtidos neste estudo de caso, verificou-se que a principal causa da falha apresentada pela Chevrolet S10 foi a infiltração de água no tanque de combustível, ocasionando a contaminação do óleo diesel, a oxidação da bomba elétrica de combustível e o comprometimento do funcionamento do sistema *Common Rail*. Dessa forma, recomenda-se a adoção de um plano de prevenção e monitoramento, visando reduzir a ocorrência desse tipo de falha e aumentar a confiabilidade do sistema.

As medidas preventivas consistem na realização de inspeções periódicas da tampa e da vedação do tanque de combustível, verificando possíveis desgastes ou danos que possam permitir a entrada de água e outros contaminantes. Recomenda-se, ainda, manter o veículo armazenado em local coberto sempre que possível, evitando sua exposição prolongada às intempéries.

Também é fundamental utilizar combustível de procedência confiável, realizar a substituição periódica do filtro de combustível conforme as recomendações do fabricante e efetuar a drenagem preventiva do separador de água, quando o sistema possuir esse componente. Além disso, devem ser inspecionadas regularmente as tubulações, conexões e demais elementos do sistema de alimentação, a fim de identificar vazamentos ou possíveis pontos de entrada de contaminantes.

Após a execução da manutenção corretiva, recomenda-se estabelecer um procedimento contínuo de monitoramento por meio de inspeções visuais e diagnósticos eletrônicos realizados com *scanner* automotivo. O acompanhamento periódico permite identificar alterações no comportamento do sistema antes que ocorram falhas de maior gravidade, reduzindo custos de manutenção e aumentando a disponibilidade operacional do veículo.

Durante o monitoramento, recomenda-se acompanhar os seguintes parâmetros operacionais:

- pressão real do *Common Rail*;

- pressão desejada (*Target Rail Pressure*);
- percentual de acionamento (PWM) da válvula dosadora de combustível;
- temperatura do combustível;
- códigos de falhas (DTC);
- funcionamento da bomba de baixa pressão;
- funcionamento da bomba de alta pressão;
- condição do filtro de combustível.

Tabela 3 Plano de prevenção e monitoramento do sistema de alimentação

Procedimento	Periodicidade
Inspeção da tampa e vedação do tanque	Mensal
Verificação da presença de água no combustível	A cada revisão preventiva
Leitura dos parâmetros pelo <i>scanner</i> automotivo	A cada revisão preventiva
Inspeção da pressão do <i>Common Rail</i>	A cada manutenção preventiva
Verificação das tubulações e conexões	A cada revisão
Substituição do filtro de combustível	Conforme especificação do fabricante
Teste de retorno dos injetores	Sempre que houver indícios de falhas
Verificação dos códigos de falhas (DTC)	Em todas as revisões

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A adoção desse plano de prevenção e monitoramento contribui para aumentar a confiabilidade dos motores Diesel equipados com tecnologia *Common Rail*, reduzindo a probabilidade de falhas decorrentes da contaminação do combustível e prolongando

a vida útil da bomba de combustível, da bomba de alta pressão, dos injetores e dos demais componentes do sistema.

8. CONCLUSÃO

O sistema *Common Rail* representa uma das mais importantes evoluções tecnológicas aplicadas aos motores Diesel, proporcionando elevado controle do processo de injeção de combustível, maior eficiência energética e significativa redução das emissões de poluentes. Sua capacidade de operar com altas pressões e gerenciamento eletrônico preciso permite melhor pulverização do combustível, combustão mais eficiente e melhor desempenho operacional do motor.

No decorrer deste trabalho, foi possível compreender o funcionamento dos principais componentes do sistema, como a bomba de alta pressão, o *Rail*, os sensores, atuadores e a unidade eletrônica de comando, evidenciando a integração entre os sistemas mecânicos e eletrônicos para o correto funcionamento do motor Diesel moderno.

A análise prática realizada na Chevrolet S10 demonstrou, a sensibilidade do sistema *Common Rail* à contaminação do combustível, principalmente pela presença de água, condição que compromete diretamente a pressão do sistema, a lubrificação interna e a integridade dos componentes. Os procedimentos de diagnóstico eletrônico, manutenção corretiva e monitoramento da pressão do *Rail* evidenciaram a importância da manutenção preventiva e da utilização de combustível de qualidade para garantir a confiabilidade e durabilidade do sistema.

A análise comportamental do PWM da válvula dosadora de combustível comprovou a eficiência do gerenciamento eletrônico realizado pela ECU, ajustando continuamente a pressão do *Rail* conforme as condições de funcionamento do motor. Dessa forma, pode-se concluir que o sistema *Common Rail* se consolidou como uma tecnologia essencial para os motores Diesel atuais, reunindo desempenho, economia, confiabilidade e adequação às exigências ambientais modernas.

REFERÊNCIAS

BOSCH, Robert. *Diesel engine management: systems and components*. Stuttgart: Robert Bosch GmbH, 2005.

CEARÁ. Secretaria da Educação. *Manutenção automotiva: injeção eletrônica motor diesel*. Disponível em: https://www.seduc.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/37/2012/06/manutencao_auto_motiva_injecao_eletronica_motor_diesel.pdf. Acesso em: 6 maio 2026.

DEMIRBAS, Ayhan. *Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines*. London: Springer, 2009.

ELSEVIER. *Combustion characteristics and emissions of diesel engines using biodiesel blends*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019057816300258>. Acesso em: 6 maio 2026.

FERGUSON, Colin R.; KIRKPATRICK, Allan T. *Internal combustion engines: applied thermosciences*. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 2016.

FIAT. *The Economist premia pesquisadores da Fiat por tecnologia aplicada aos motores diesel*. Disponível em: <https://www.media.stellantis.com/br-pt/fiat/press/the-economist-premia-pesquisadores-da-fiat-por-tecnologia-aplicada-aos-motores-diesel>. Acesso em: 6 maio 2026.

HEYWOOD, John B. *Internal combustion engine fundamentals*. 2. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

JÚNIOR, José de Limar. *A participação da empresa júnior para a formação do engenheiro de produção*. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/1578/1/Jos%C3%A9%20de%20Limar%20J%C3%BAnior%20120698.pdf>. Acesso em: 6 maio 2026.

KNOTHE, Gerhard; VAN GERPEN, Jon; KRAHL, Jürgen. *The biodiesel handbook*. 2. ed. Champaign: AOCS Press, 2015.

LORA, Electo Eduardo Silva; VENTURINI, Osvaldo José. *Biocombustíveis*. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

OFICINA BRASIL. *Como funciona o sistema de injeção direta common rail*. Disponível em: <https://oficinabrasil.com.br/noticia/materia-exclusiva/como-funciona-o-sistema-de-injecao-direta-common-rail>. Acesso em: 6 maio 2026.

PULKRABEK, Willard W. *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*. 2. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2004.