

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

ALESSANDRO RINALDI DOS REIS

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA DO SISTEMA DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL  
EM MOTORES DIESEL

Joinville

2018

ALESSANDRO RINALDI DOS REIS

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA DO SISTEMA DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL  
EM MOTORES DIESEL

Trabalho apresentado como requisito para  
obtenção do título de bacharel no Curso de  
Graduação em Engenharia Automotiva do  
Centro Tecnológico de Joinville da  
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Marcos Alves Rabelo

Joinville

2018

ALESSANDRO RINALDI DOS REIS

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA DO SISTEMA DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL  
EM MOTORES DIESEL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

**Banca Examinadora:**

---

Dr. Eng. Marcos Alves Rabelo  
Presidente / Orientador

---

Dr. Eng: Modesto Hurtado Ferrer  
Membro

---

Eng. Marcos Fachinetto  
Membro / Amplexo Diesel

---

Eng. Leomar Fachinetto  
Membro / Amplexo Diesel

Dedico este trabalho a minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ter abençoado meu caninho em toda minha vida.

Quero agradecer a todos os professores e em especial ao meu orientador de TCC, professor Marcos Alves Rabelo por ter aceito este desafio e me dar todo apoio para a elaboração deste trabalho.

Agradeço a empresa Amplexo Diesel por fornecer seu banco de dados que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meu pais, Luis Cláudio dos Reis e Seloir Maria Rinaldi por darem todo amor, carinho, dedicação, apoio e por fazerem do meu sonho o seu também.

Quero agradecer ao meu irmão, Guilherme Rinaldi dos Reis, por seu amigo e companheiro de todas as horas e pela sua bondade sem fim.

Agradeço aos meus amigos que participaram destes anos de graduação, vocês também foram essenciais para eu poder chegar até aqui.

E agradeço a todos que me ajudaram de alguma forma nesta jornada.

## RESUMO

O sistema de injeção de combustível de motores Diesel é muito mais sensível e suscetível a ocorrência de falhas, em especial os bicos injetores. Apesar de todo o avanço tecnológico que os sistemas de injeção tiveram, a falta de manutenção preventiva e o Diesel contaminado com água e impurezas reduzem drasticamente a vida útil destes componentes. Visando compreender e rastrear o comportamento dos modos de falha nos bicos injetores Diesel, este trabalho fez o uso de dados experimentais, provindos de bancada de testes, utilizando ferramentas de análise de dados e seus respectivos gráficos. Os dados são referentes a 4 injetores da mesma marca e com a mesma aplicação, que foram organizados e agrupados em forma de tabelas e gráficos. Os gráficos ilustram o comportamento dos bicos injetores, mostrando as faixas de operação, quais injetores estão dentro dos limites permitidos e quais se encontram fora do padrão ou apresentam falha. Para montar essas tabelas e gráficos utilizou-se dois parâmetros do teste principal gerada pela bancada, que são o débito de injeção e o débito de retorno. Esses parâmetros estão diretamente ligados ao rendimento e eficiência do bico injetor, logo se eles apresentam falha, ou seja, valores fora da faixa de operação, o sistema de injeção fica comprometido ou até mesmo inoperante. Os modelos de injetores analisados, mesmo possuindo a mesma causa de falha, o combustível contaminado, teve variação no modo de falha nos injetores, dependendo do seu modelo e tipo construtivo.

**Palavras-chave:** Diesel. Injetor. Modos de Falha. Injeção. Débito. Retorno.

## **ABSTRACT**

The fuel injection system of diesel engines is much more sensitive and susceptible to occurrence of failures, especially injector nozzles. Despite all the technological advances that injection systems have had, the lack of preventive maintenance and Diesel contaminated with water and impurities drastically reduce the useful life of these components. Aiming to understand and track the behavior of failure modes in diesel injector nozzles, this work made use of experimental data, from bench test, using data analysis tools and their respective graphs. The data refer to 4 injectors of the same brand and with the same application, which were organized and grouped in the form of tables and graphs. The graphs illustrate the behavior of the injector nozzles, showing the operating ranges, which injectors are within the permitted limits, and which are out of standard or fail. In order to assemble these tables and graphs we used two parameters of the main test generated by the bench, which are the injection rate and the return flow rate. These parameters are directly related to the efficiency and efficiency of the injector nozzle, so if they fail, that is, values outside the operating range, the injection system is compromised or even inoperative. The models of injectors analyzed, even having the same cause of failure, the contaminated fuel, had variation in the mode of failure of the injectors, depending on its model and construction type.

Keywords: Diesel. Injector. Failure Modes. Injection. Debt. Return.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sistema de Bomba em Linha .....	21
Figura 2 - Unidade Injetoras tipo Bomba – Bico.....	22
Figura 3 - Unidade Injetora tipo bomba - tubo - bico.....	23
Figura 4 - Bico Injetor .....	25
Figura 5 - Bomba Rotativa .....	26
Figura 6 Sistema Acumulador ou Common Rail.....	27
Figura 7 - Bancada de Teste de Bombas e Injetores Diesel - EPS 708 .....	30
Figura 8 - EPS 708 .....	31
Figura 9 - Teste de Plena Carga VL .....	34
Figura 10 - Injetores 0445110141 e 0445110231.....	36
Figura 11 - Injetores 0445110273 e 0445110520.....	36
Figura 12 - Comparativo Óleo Diesel S10 .....	37
Figura 13 - Comparativo Óleo Diesel S500 .....	38
Figura 14 - Débito de Injeção Injetor 1 - 0445110141 .....	42
Figura 15 - Débito de Injeção Injetor 2 - 0445110141 .....	42
Figura 16 - Débito de Injeção Injetor 3 - 0445110141 .....	42
Figura 17 - Débito de Injeção Injetor 4 - 0445110141 .....	42
Figura 18 - Débito de Retorno Injetor 1- 0445110141 .....	44
Figura 19 - Débito de Retorno Injetor 2- 0445110141 .....	44
Figura 20 - Débito de Retorno Injetor 3- 0445110141 .....	44
Figura 21- Débito de Retorno Injetor 4- 0445110141 .....	44
Figura 22 - Débito de Injeção Injetor 1 - 0445110231 .....	46
Figura 23 - Débito de Injeção Injetor 2 - 0445110231 .....	46
Figura 24 - Débito de Injeção Injetor 3 - 0445110231 .....	46
Figura 25 - Débito de Injeção Injetor 4 - 0445110231 .....	46
Figura 26 - Débito de Retorno Injetor 1- 0445110231 .....	48
Figura 27 - Débito de Retorno Injetor 2- 0445110231 .....	48
Figura 28 - Débito de Retorno Injetor 3- 0445110231 .....	48
Figura 29 - Débito de Retorno Injetor 4- 0445110231 .....	48
Figura 30 - Débito de Injeção Injetor 1 - 0445110273 .....	50
Figura 31 - Débito de Injeção Injetor 2 - 0445110273 .....	50
Figura 32 - Débito de Injeção Injetor 3 - 0445110273 .....	50

Figura 33 - Débito de Injeção Injetor 4 - 0445110273 .....	50
Figura 34 - Débito de Retorno Injetor 1 - 0445110273 .....	52
Figura 35 - Débito de Retorno Injetor 2 - 0445110273 .....	52
Figura 36 - Débito de Retorno Injetor 3 - 0445110273 .....	52
Figura 37 - Débito de Retorno Injetor 4 - 0445110273 .....	52
Figura 38 - Débito de Injeção Injetor 1 - 0445110520 .....	54
Figura 39 - Débito de Injeção Injetor 2 - 0445110520 .....	54
Figura 40 - Débito de Injeção Injetor 3 - 0445110520 .....	54
Figura 41 - Débito de Injeção Injetor 4 - 0445110520 .....	54
Figura 42 - Débito de Retorno do Injetor 1 - 0445110520 .....	56
Figura 43 - Débito de Retorno do Injetor 2 - 0445110520 .....	56
Figura 44 - Débito de Retorno do Injetor 3 - 0445110520 .....	56
Figura 45 - Débito de Retorno do Injetor 4 - 0445110520 .....	56
Figura 46 - Injetor Modelo 0445110141 .....	63
Figura 47 - Injetor Modelo 0445110231 .....	63
Figura 48 - Injetor Modelo 0445110273 .....	63
Figura 49 - Componente do Retorno .....	64
Figura 50 - Componente Retorno Injetor 0445110520 .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Débito de Injeção do Injetor 0445110141 - (mm <sup>3</sup> /H) .....	40
Tabela 2 - Débito de Retorno do Injetor 0445110141 - (mm <sup>3</sup> /H) .....	43
Tabela 3- Débito de Injeção do Injetor 0445110231 - (mm <sup>3</sup> /H) .....	45
Tabela 4 - Débito de Retorno do Injetor 0445110231 - (mm <sup>3</sup> /H) .....	47
Tabela 5 - Débito de Injeção do Injetor 0445110273 - (mm <sup>3</sup> /H) .....	49
Tabela 6 - Débito de Retorno do Injetor 0445110273 - (mm <sup>3</sup> /H) .....	51
Tabela 7 - Débito de Injeção do Injetor 0445110520 - (mm <sup>3</sup> /H) .....	53
Tabela 8 - Débito de Retorno do Injetor 0445110520 - (mm <sup>3</sup> /H) .....	55
Tabela 9 - Análise Débito de Injeção 0445110141 .....	58
Tabela 10 - Análise Débito de Retorno 0445110141 .....	59
Tabela 11 - Análise Débito de Injeção 0445110231 .....	59
Tabela 12 - Análise Débito de Retorno 0445110231 .....	60
Tabela 13 - Análise Débito de Injeção 0445110273 .....	60
Tabela 14 - Análise Débito de Retorno 0445110273 .....	60
Tabela 15 - Análise Débito de Injeção 0445110520 .....	61
Tabela 16 - Análise Débito de Retorno 0445110520 .....	61
Tabela 17 - Custo Manutenção Preventiva.....	65
Tabela 18 - Custo Manutenção Corretiva.....	65

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANP – Agência Nacional do Petróleo

EM – Teste de Emissões

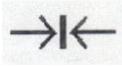
LL – Teste de Marcha Lenta

VE – Teste de Pré-Injeção

VL – Teste de Plena Carga

OS – Ordem de Serviço

## LISTA DE SÍMBOLOS



Valor Nominal



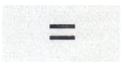
Valor de Tolerância



Valor Mínimo



Valor Máximo



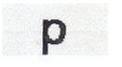
Valor Nominal



Tempo



Temperatura



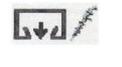
Pressão



Pressão no Acumulador (Rail)



Injetor



Débito de Retorno do Injetor



Débito de Injeção do Injetor

## SUMÁRIO

<b>1.1 OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
1.1 Objetivo Geral .....	15
<b>1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 ÓLEO DIESEL .....</b>	<b>16</b>
2.1.2 Qualidade do óleo Diesel .....	17
2.1.2.1 Pureza .....	17
2.1.2.3 Massa específica .....	18
2.1.2.4 Viscosidade .....	18
2.1.2.5 Número de Cetano .....	18
<b>2.2 SISTEMA DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL .....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Sistema de Bomba em Linha .....	20
2.2.2 Sistema Modular de Bombas Individuais.....	21
2.2.2.1 Unidades Injetoras tipo Bomba – Bico .....	22
2.2.2.2 Unidades Injetoras tipo Bomba – Tubo – Bico .....	23
2.2.3. Unidades de Comando Eletrônica.....	23
2.2.4 Bicos Injetores.....	24
2.2.5 Sistema de Bomba Rotativa ou Distribuidor .....	25
2.2.6 Sistema Acumulador ou Common Rail .....	26
<b>2.3 MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE INJEÇÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA .....</b>	<b>28</b>
2.4.1 Análise de Falhas em Potencial .....	29
2.4.2 Avaliação dos Riscos.....	29
2.4.3 Melhoria .....	29
2.4.4 Continuidade.....	29
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS .....</b>	<b>30</b>
3.1.1 Laudos técnicos .....	32
3.1.2 Parâmetros de testes .....	33
3.1.3 Injetores testados .....	34
<b>3.1.3 CAUSAS DE FALHA NO SISTEMA DE INJEÇÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO DE DADOS .....</b>	<b>39</b>
4.1 Dados Injetores Modelo 0445110141 .....	39

<b>4.2 Dados Injetores Modelo 0445110231 .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3 Dados Injetores Modelo 0445110273 .....</b>	<b>49</b>
<b>4.4 Dados Injetores Modelo 0445110520 .....</b>	<b>53</b>
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1.1 Análise de Dados Injetores Modelo 0445110141.....</b>	<b>58</b>
<b>5.1.2 Análise de Dados Injetores Modelo 0445110231.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1.3 Análise de Dados Injetores Modelo 0445110273.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1.4 Análise de Dados Injetores Modelo 0445110520.....</b>	<b>61</b>
<b>5.1.5 Análise dos Modos de Falha dos Injetores .....</b>	<b>61</b>
<b>5.1.6 Análise dos Modos de Falha do Injetor 0445110520 .....</b>	<b>62</b>
<b>5.2 Análise de Custo .....</b>	<b>65</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO A – LAUDO TÉCNICO PÁGINA 1 .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO B – LAUDO TÉCNICO PÁGINA 2 .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO C – LAUDO TÉCNICO PÁGINA 3 .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO D – LAUDO TÉCNICO PÁGINA 4.....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os motores de combustão interna são classificados de acordo com o ciclo de funcionamento em dois tipos: Ciclo Otto e Ciclo Diesel. O ciclo de funcionamento é o conjunto de transformações na massa gasosa que se sucede no interior dos cilindros, a partir de sua admissão até a exaustão de seus gases para o meio ambiente. O ciclo Otto foi desenvolvido por Nikolaus A. Otto em 1876 e o ciclo Diesel por Rudolf Diesel em 1893. (VARELLA; SANTOS, 2010).

Segundo Martins e Garcia (2010), os motores ciclo Diesel são um tipo especial de motores de combustão interna, cujo principal atributo, que os faz diferir dos motores ciclo Otto é a maneira com a qual se realiza a ignição do combustível. Neste tipo de motor, durante o estágio de compressão do ar no cilindro, a temperatura do ar aumenta de modo que, quando o combustível na forma pulverizada entra em contato com ar quente, este combustível sofre ignição sem a necessidade de centelha primária. Por essa razão os motores Diesel são, também, chamados de motores a compressão.

O óleo Diesel é um combustível que não queima facilmente, e para entrar em combustão rapidamente, deve ser pulverizado com um fino spray. Outro fator essencial para a queima do Diesel é a alta compressão no cilindro podendo atingir de 20 a 30 vezes a pressão atmosférica. Dessa forma o sistema de injeção de combustível é uma das partes mais sofisticadas do motor, e também uma das mais suscetíveis à falha, segundo Martins e Garcia (2010).

A injeção de combustível em motores Diesel desempenha um papel importante no desenvolvimento de combustão no cilindro do motor. O processo de injeção de combustível consiste em eventos periódicos de centenas de microssegundos a alguns milissegundos, que precisam ser controlados com precisão e continuamente monitorado para funcionar sem problemas. Indiscutivelmente, o mais influente componente do motor Diesel é o equipamento de injeção de combustível: pequenas falhas podem causar uma grande perda de eficiência de combustão e aumento das emissões do motor e do ruído. O sistema de injeção de combustível tem se mostrado um dos maiores fatores contribuintes para a falha do motor Diesel.

O sistema de injeção de combustível em motores Diesel tem passado por contínuo aperfeiçoamento ao longo dos anos com o intuito de se tornar mais eficiente e precisa a injeção do combustível. Todavia, devido a certas condições como falta de manutenção preventiva e combustível contaminado, podem acarretar falhas prematuras no sistema de injeção de combustível.

Neste trabalho se apresenta o estudo que se baseia na problemática dos modos de falha em sistema de injeção de combustível em motores, foram feitas coletas de dados experimentais provindos de bancada de teste. Explorando os resultados obtidos, foram elaboradas matrizes de diagnósticos que relacionam o comportamento dos sistemas de injeção com os parâmetros de falhas.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo Geral**

Analisar os modos de falha em sistemas de injeção de combustíveis em motores Diesel, através da análise dos dados experimentais e seus respectivos gráficos.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Classificar os diferentes tipos de sistemas de injeção de óleo Diesel;
- Coletar e avaliar os dados experimentais provenientes da bancada de testes;
- Identificar os modos de falhas nos bicos injetores e suas causas;
- Usar ferramentas estatísticas para compreender o comportamento dos modos de falha;
- Propor medidas preventivas para os sistemas de injeção de combustível.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos essenciais para o entendimento do funcionamento do sistema injeção em motores ciclo Diesel, tais como: óleo Diesel, sistema de bomba em linha, sistema de bomba rotativa, sistema de injetores unitários, manutenção no sistema de injeção.

### 2.1 ÓLEO DIESEL

O óleo Diesel é um derivado do processo de destilação do petróleo bruto constituído essencialmente por hidrocarbonetos, sendo sua composição formada principalmente por átomos de carbono, hidrogênio e em baixas concentrações por enxofre, nitrogênio e oxigênio. É um combustível pouco inflamável, pouco volátil e tóxico, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico. Possui este nome em homenagem ao engenheiro alemão Rudolf Diesel. (VARELLA; SANTOS, 2010).

A Petrobras desde 1994 produz dois tipos de óleo Diesel rodoviário: metropolitano e interior. O metropolitano, com menor teor de enxofre, é consumido em regiões que necessitam de um óleo com menor emissão de material particulado e que produza menos impacto ambiental. O Diesel interior é consumido nas demais regiões do país. O Diesel rodoviário metropolitano comercializado atualmente possui, desde maio de 2012, um teor de enxofre de no máximo 0,01% (10 ppm), visando reduzir ainda mais as emissões de material particulado. No primeiro semestre de 2005, a Petrobras passou a fornecer o Óleo Diesel S500 nas regiões metropolitanas dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. O óleo Diesel rodoviário é classificado conforme o teor de enxofre em três classes:

- Óleo Diesel S10: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 10 mg/kg;
- Óleo Diesel S50: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 50 mg/kg;
- Óleo Diesel S500: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 500 mg/kg;

Atualmente, com o intuito de minimizar as emissões de poluentes, o biodiesel vem sendo misturado ao Diesel comum. O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, que pode ser obtido por diversos processos. Sua utilização pode substituir total ou parcialmente o óleo Diesel proveniente do petróleo em motores de caminhões, tratores, automóveis, geradores de eletricidade e calor, entre outros. Pode ser usado puro ou misturado ao Diesel em diversas proporções. A mistura atual de biodiesel no mercado brasileiro é de 10% ao Diesel de petróleo, o B10, sendo o biodiesel puro é denominado B100. Este combustível atende às especificações da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), próprias para o mercado brasileiro. (PETROBRAS, 2018)

### **2.1.2 Qualidade do óleo Diesel**

A qualidade do óleo Diesel está relacionada a diversas características do combustível. As principais são: pureza, viscosidade, massa específica, número de cetano.

#### **2.1.2.1 Pureza**

A pureza no óleo Diesel é uma medida relacionada ao teor de água e sedimentos presentes. Essas impurezas comumente são provenientes do transporte e armazenamento inadequado do combustível. A presença desses contaminantes, em uma proporção maior que o permitido, causa desgaste excessivo do motor. A água provoca corrosão dos bicos injetores, combustão imperfeita e promove a criação de partículas de ferrugem. Os sólidos em suspensão causam danos ao sistema de alimentação de combustível, principalmente bomba e bicos injetores. (BRUNETTI, 2012).

O teste de pureza é realizado em laboratórios credenciados pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), que consiste em centrifugar 50 ml de Diesel misturado em tubo de ensaio com quantidade igual de um solvente (tolueno). No final, lê-se a camada de água e de sedimentos existentes na parte inferior do tubo e a seguir calcula-se a percentagem em função da amostra tomada. Os limites máximos permitidos pela ANP para presença de água e sedimentos no óleo Diesel é de 0,05% em volume, isto é, para cada 50 ml de Diesel o máximo autorizado de água e sedimentos é 0,025 ml. (VARELLA, 2010).

### **2.1.2.3 Massa específica**

Segundo Brunetti (2010) a massa específica é a propriedade que relaciona massa e volume de óleo Diesel a uma temperatura específica que no Brasil é de 20° C, expressa em g/cm<sup>3</sup>. Variações na massa específica tem influência na massa de combustível injetado, tendo visto que a bomba injetora controla a injeção em função da variação do volume. Os limites especificados pela ANP são: 820-880 kg/m<sup>3</sup> para Diesel “B-interior” e 820 a 865 kg/m<sup>3</sup> para Diesel “D-metropolitano”. Valores fora da faixa especificada indicam a presença de contaminantes.

### **2.1.2.4 Viscosidade**

A viscosidade é medida em relação a resistência ao escoamento do óleo Diesel em orifício padrão. A viscosidade específica do óleo Diesel é determinada em função das suas condições cinemáticas e seu resultado é expresso em centésimos de Stokes (centistokes). A lubrificação da bomba e bicos injetores é influenciada pela viscosidade, pois é feita somente pelo óleo Diesel.

Com viscosidades baixas, a queima acontece muito perto do bico injetor, provocando distorção dos furos dos bicos devido as temperaturas elevadas. Além disto, a lubrificação de todo o sistema de injeção é feita pelo próprio Diesel. Valores altos resultam em maior esforço da bomba injetora e atomização inadequada do combustível pelos bicos injetores, causando maior emissão de fumaça e particulados pelo aumento do tamanho das gotículas. (BRUNETTI, 2012).

### **2.1.2.5 Número de Cetano**

O número de cetano mede a qualidade de ignição do Diesel e influencia diretamente a partida do motor e o seu funcionamento sob carga e nas emissões. Fisicamente, o número de cetano se relaciona diretamente com o retardo da ignição do motor de modo que, quanto menor o número de cetano maior será o retardo da ignição. Desta forma, maior será a quantidade de combustível que permanecerá na câmara sem queimar no tempo certo. (VARELLA, 2010).

O número de cetano é a característica que um combustível descreve de como entrará em autoignição. Caso a temperatura da mistura ar-combustível for alta suficiente, a mistura poderá entrar em autoignição sem que haja a necessidade de uma centelha ou outra ignição externa. A

autoignição é relacionada com a fragmentação das moléculas e, em motores Diesel, é desejável a fragmentação fácil das moléculas do combustível pois intensifica a combustão do combustível injetado. O número de cetano aumenta com a tendência de fragmentação, ao contrário da octanagem. Os hidrocarbonetos de cadeia linear são mais predispostos à fragmentação por temperatura que os ramificados, olefinicos, cíclicos e aromáticos (sendo estes os mais resistentes). Isto é, suas moléculas fragmentam-se em temperaturas mais baixas, facilitando o início da combustão em condições mais desfavoráveis como por exemplo a partida do motor. (BRUNETTI, 2012).

## 2.2 SISTEMA DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Ao passar dos anos o sistema de injeção de óleo Diesel passou por contínuos avanços, assim os motores ciclo Diesel estão cada vez mais econômicos e elásticos. A elasticidade de um motor é a capacidade de poder aumentar ou diminuir as rotações por minuto sem perdas significativas de potência. A economia de um motor é a capacidade deste de desenvolver mais potência, com menor gasto com a manutenção e baixo consumo de combustível. O menor consumo de combustível é obtido com uma injeção de combustível de óleo Diesel na quantidade exata e no momento exato e um jato fino de forma a se obter a combustão completa do combustível injetado. (RANCHE, 2004).

Segundo Brunetti (2012) no motor Diesel, o combustível deve ser injetado diretamente na câmara de combustão, com alta pressão (acima de 200 bar, podendo alcançar valores superiores a 2000 bar) e finamente nebulizado, no momento do final do tempo da compressão e mesmo durante o de expansão. A distribuição e nebulização do combustível da câmara de combustão são fatores essenciais no processo de combustão, logo é evidente a grande importância do desempenho do sistema injeção para o funcionamento do motor. Desta forma os requisitos do sistema injetor são:

- Distribuir a quantidade exata de combustível em cada cilindro, em relação a carga e rotação desejada.
- Pulverizar o combustível de forma finamente nebulizada, para facilitar sua mistura com o ar.
- Iniciar a injeção no momento certo.
- Injetar o combustível com a taxa de injeção desejada (velocidade de injeção).
- Terminar a injeção instantaneamente, sem causar gotejamento ou pós-injeção.

Segundo Rache (2004) o sistema de injeção tem a função de extrair o óleo Diesel do tanque de combustível por meio de uma bomba, filtrá-lo e enviá-lo até a bomba injetora, que o transfere sob alta pressão a cada injetor dos cilindros. Estes, por sua vez, injeta o Diesel no cilindro, sob forma de um jato finamente pulverizado, na quantidade e no momento exato. São três os principais sistemas de injeção de óleo Diesel:

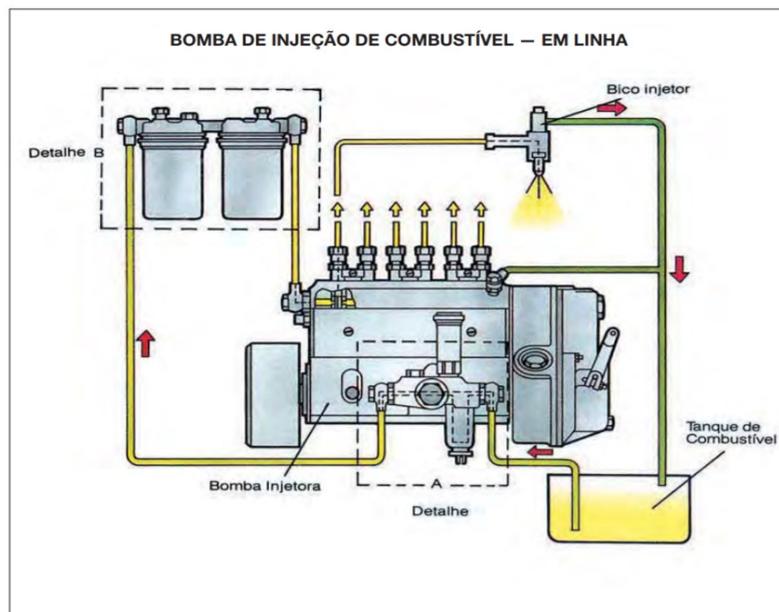
1. Sistema de bombeamento individual, que se divide em 3 configurações:
  - 1.a) Bomba em linha;
  - 1.b) Bomba – tubo – bico;
  - 1.c) Bomba – bico;
2. Sistema de bomba rotativa ou distribuidor;
3. Sistema acumulador ou common rail.

### **2.2.1 Sistema de Bomba em Linha**

É composto por uma bomba com eixo de ressaltos e um componente dosador para cada cilindro. O regulador de débito e velocidade, fica acoplado à bomba injetora, disponível nas versões mecânica ou eletrônica. O sistema de bomba em linha é muito utilizado para caminhões para serviço pesado e exige tubulações e componentes fabricados com altíssima precisão, o que o encarece. A bomba injetora tem como função aumentar a pressão do combustível e enviá-lo ao injetor no instante ideal e na quantidade desejada para cada ciclo. (BRUNETTI, 2010).

As bombas injetoras, uma para cada injetor, são dispostas em linha, com um eixo que aciona os pistões dos cilindros, como mostrado na Figura 1. Quando agrupados em um único alojamento, o sistema é denominado de bomba em linha. O controle de vazão do combustível injetado em cada cilindro é feito por meio de um rasgo situado na lateral do pistão, que devido a ação da cremalheira é movimentada por ação de cabos de aço conectados ao pedal do acelerador do motorista, permitindo alterar essa vazão. (RANCHE, 2004).

Figura 1- Sistema de Bomba em Linha



Fonte: Mahle (2016).

A quantidade de combustível injetada por ciclo (também conhecido por débito) para uma determinada variação de carga e rotação do motor é realizada por intermédio do giro do pistão do elemento injetor sobre seu eixo. Durante o movimento descendente do pistão, o combustível fornecido pela bomba de transferência preenche o volume formado no cilindro. Movido pelo eixo excêntrico, o pistão ultrapassa o orifício de comando no cilindro e promove o escoamento do combustível por intermédio da válvula e da porta-válvula, levando-o para o injetor. Em um determinado instante do deslocamento, o sulco helicoidal do pistão coloca a câmara de combustível pressurizado em comunicação com o condutor do retorno, cessando a injeção; o combustível excedente retorna para o tanque, como ilustrado na Figura 1. (BRUNETTI, 2010).

### 2.2.2 Sistema Modular de Bombas Individuais

Os sistemas modulares de bombas individuais que são controladas eletronicamente se dividem em unidades bomba – bico e bomba – tubo – bico. Este tipo de sistema modular tem como vantagens a sua forma construtiva robusta e compacta, o que facilita o alcance de pressões de injeção superiores a 2.000 bar. O seu circuito de alta pressão é curto, fato que contribui para obtenção de uma dinâmica de injeção mais otimizada, maior durabilidade e menores problemas decorrentes da contaminação do combustível. Os mapas de calibração

existentes na unidade de controle eletrônico definem as condições de funcionamento. (BRUNETTI, 2010).

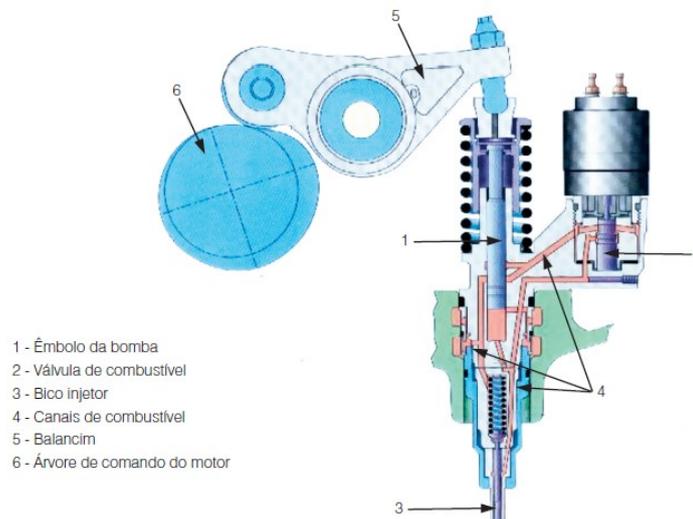
### 2.2.2.1 Unidades Injetoras tipo Bomba – Bico

A unidade injetora tipo bomba – bico refere-se a um módulo injetor de um cilindro com bomba de alta pressão, bico injetor e válvula magnética integrados, como ilustrado na Figura 2. Sua montagem é realizada diretamente no cabeçote sendo acionado por meio de um balancim, acionado por um ressalto presente no eixo de comando do motor. (BRUNETTI, 2010).

O funcionamento possui quatro etapas: fase de enchimento, fase de injeção, fase de descarga e fase de queda de pressão. Na fase de enchimento o êmbolo da bomba se move para cima, aspira combustível dos canais por intermédio da válvula de combustível da unidade injetora, que não está aberta. Na fase de injeção a válvula de combustível se fecha, logo o canal de combustível é bloqueado e a pressão sobe a um valor muito alto.

O Diesel a alta pressão empurra para cima a agulha do bico injetor, fazendo que o mesmo se abra, e o combustível na forma de névoa, muito fina, seja injetado na câmara de combustão. A fase de descarga se dá quando o êmbolo se move para baixo, e combustível é empurrado por meio da válvula de combustível aberta, descarregando para os canais de combustível na cabeça de cilindro. A fase de queda de pressão é quando a injeção termina e a válvula de combustível se abre novamente, quando a pressão diminui a agulha do bico injetor se fecha. (SCANIA, 2009).

Figura 2 - Unidade Injetoras tipo Bomba – Bico



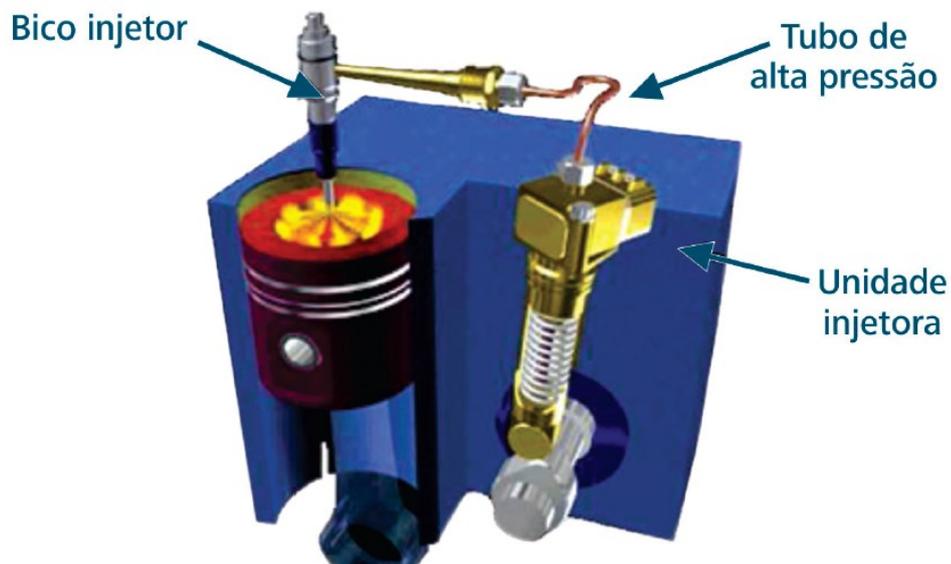
Fonte: Scania (2009).

### 2.2.2.2 Unidades Injetoras tipo Bomba – Tubo – Bico

A unidade bombeadora tipo bomba – tubo – bico é outro modelo de sistema modular de bombas individuais por cilindro. Possui o funcionamento parecido com o das unidades bomba – bico, porém ele se diferencia na parte construtiva; onde o bico e bomba não são integrados em um único componente. Esse sistema é constituído por uma bomba de alta pressão montada no bloco do motor, onde há também o eixo de comando com os ressaltos de injeção. Na posição centrada no cabeçote do motor, é montado o conjunto porta-injetor, que contém o bico injetor. (BRUNETTI, 2010).

Os elementos acoplados na unidade injetora-injetor, câmaras de pressão, descarga de combustível, válvula de controle de vazão e eletroímã de acionamento são responsáveis pelo aumento da pressão e controle do volume de injeção de combustível que é transportado ao bico e pulverizado na câmara de combustão, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Unidade Injetora tipo bomba - tubo - bico



Fonte: Tillmann (2013)

### 2.2.3. Unidades de Comando Eletrônica

Segundo Brunetti (2010) a unidade de comando eletrônica promove o acionamento da válvula magnética das unidades injetoras modulares. Essa unidade recebe todos os comandos vindos dos sensores instalados no sistema, tais como a rotação e posição do virabrequim do motor, posição do pedal do acelerador, temperatura e pressão da água e do óleo. Por meio de

seus mapas de calibração, define a energização ideal da válvula magnética de maneira a promover o início e duração da injeção otimizada e sincronizada com a posição do pistão do motor. Uma das formas de diminuir o ruído e vibração do motor é a função chamada de pré-injeção, ou em outras palavras, a criação de uma injeção de pequeno volume de combustível pouco antes da injeção principal.

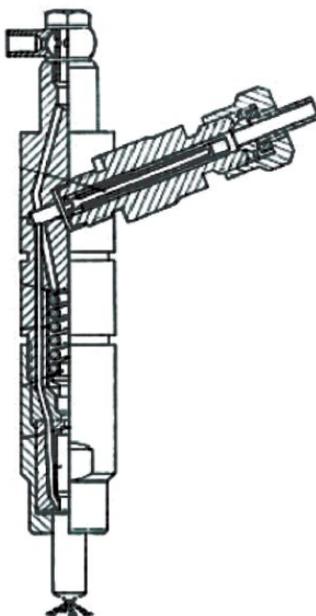
Os sistemas modulares, apesar de serem acionados por eixos de ressaltos, já concedem a possibilidade de se calibrar, com mais liberdade, o ponto de início de injeção, o que promove benefícios na busca do melhor ponto para a redução das emissões de gases e material particulado. (BRUNETTI, 2010).

#### **2.2.4 Bicos Injetores**

Os bicos injetores são componentes de alta precisão que funcionam como válvulas do combustível, abrindo apenas no momento em que o combustível é injetado pela bomba. São responsáveis por pulverizar finamente o combustível para dentro da câmara de combustão do motor, garantindo que a combustão seja completa. Quanto melhor for essa atomização, maior será a eficiência térmica do motor, e por consequência, se alcança mais economia de combustível com menor emissão de gases poluentes. (SCANIA, 2009).

Nos motores Diesel com injeção direta é mais utilizado os bicos injetores de pino, devido a vantagem de serem mais resistentes e exigindo manutenção menos frequentes, pois o próprio movimento do pino promove a limpeza do injetor. Outra vantagem dos bicos de pino é a possibilidade de se utilizar um ou mais orifícios de pequenos diâmetros, de maneira a atomizar melhor o combustível. A Figura 4 ilustra o bico injetor convencional internamente e externamente. (BRUNETTI, 2010).

Figura 4 - Bico Injetor



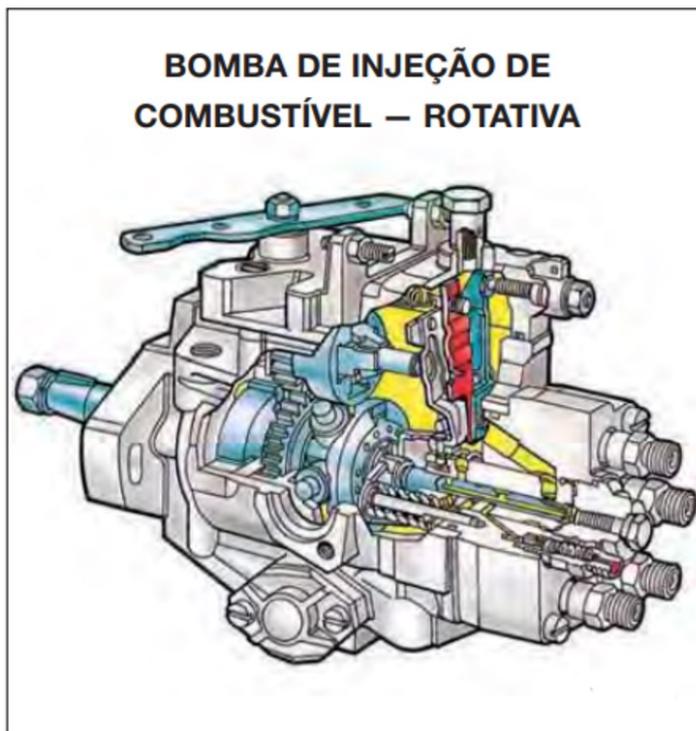
Fonte: Tillmann (2013)

### 2.2.5 Sistema de Bomba Rotativa ou Distribuidor

Este sistema utiliza uma bomba rotativa de alta pressão acionada pelo motor, com um único pistão, acionado pelo eixo de cames, onde o óleo é dosado, pressurizado e distribuído a todos os injetores. A tubulação que liga a bomba e os injetores é de alta pressão, e as variações da quantidade injetada de óleo (vazão) são efetuadas girando o pistão. O curso efetivo do pistão e a quantidade de combustível injetado em cada cilindro são alterados mediante a abertura de orifícios no cilindro que ficam abertos em função do giro do pistão. O ângulo de giro do pistão é controlado pelo pedal do acelerador. O sistema de bomba rotativa é de fabricação mais barata não oferecendo tanta precisão de dosagem do óleo Diesel, sendo usado em motores pequenos e de serviços leves, como pequenos tratores e motores de geradores (RANCHE, 2004).

Devido a sua construção compacta e pelo fato de serem lubrificadas pelo próprio combustível, a bomba rotativa, traz vantagens de custo, contudo as torna mais suscetíveis à exposição de combustível contaminado. Um exemplo de bomba rotativa é a bomba injetora com regulador mecânico, ilustrado na Figura 5. Nessa bomba injetora, a bomba de transferência, ou também conhecida como de palhetas, alimenta um distribuidor que é formado por um cabeçote hidráulico que por meio da válvula dosadora controla o débito (injeção) em função da carga desejada. (BRUNETTI, 2010)

Figura 5 - Bomba Rotativa



Fonte: Mahle (2016).

### 2.2.6 Sistema Acumulador ou Common Rail

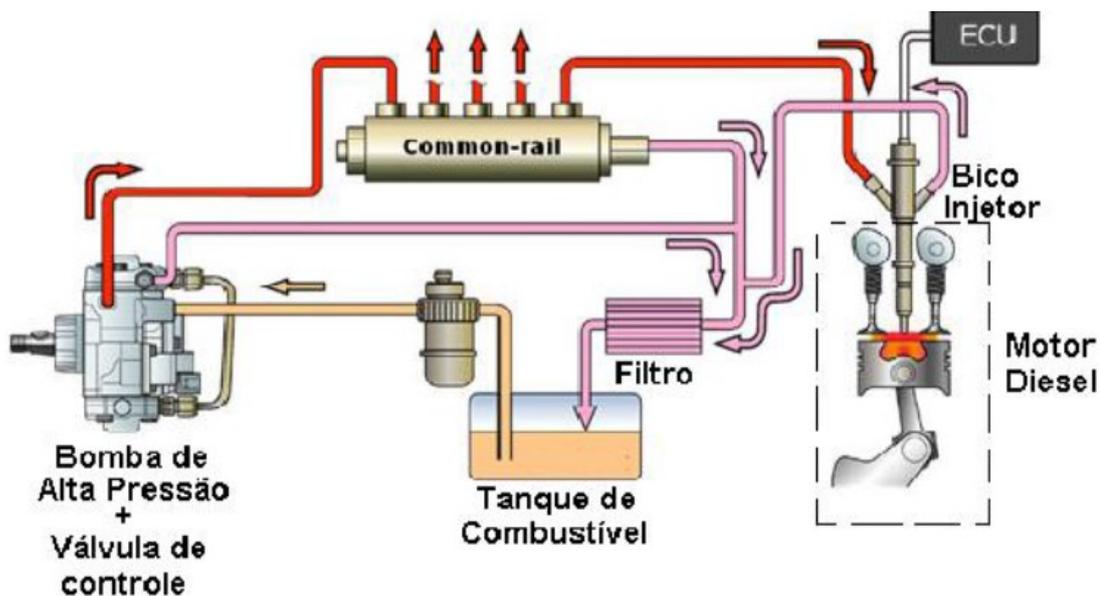
O sistema de injeção eletrônica de combustível Diesel conhecida como common rail, é caracterizado por um controle maior da pressão de injeção no cilindro, bem como a sua geração de pressão de combustível. Pode ser alcançada e acumulada independente da rotação do motor e também da quantidade de combustível a ser injetado, diferentemente dos sistemas anteriores. O diferencial do sistema está em produzir e controlar a alta pressão por meio de uma bomba com válvula de controle, acionada eletronicamente pela central de injeção do motor, que de acordo a solicitação a que o motor está sendo submetido, envia esta pressão para o tubo acumulador e distribuidor de pressão (common rail). Dado que o controle da injeção de combustível em volume e pressão ser superior aos sistemas mecânicos é possível diminuir-se significativamente as emissões de gases nocivos nos motores. (PODORODECZKI, 2016).

Outra grande vantagem desse sistema é aliar a alta pressão de injeção, mais de 2.000 bar, com a possibilidade de realizar injeções múltiplas (pré-injeção, injeção principal e pós injeção). Além da flexibilidade no ajuste para o início da injeção, de forma a adaptá-los a cada regime de funcionamento do motor, promovendo essas funções com pequenas tolerâncias e alta

precisão durante toda vida útil. A produção de pressão e a injeção são fenômenos que acontecem independentemente e com a bomba fornecendo combustível sobre pressão mesmo em baixas rotações do motor. Em contrapartida, o momento e a quantidade de injeção são calculados na unidade de comando eletrônico e o acionamento elétrico dos injetores permite injeções com precisão. (BRUNETTI, 2010).

As crescentes exigências para a redução de consumo de combustível e de emissão de gases poluentes, não conseguem ser atendidas pelos sistemas de injeção mecânicos. Com o sistema de injeção eletrônica, common rail, há o controle constante e preciso da injeção do combustível devido ao acumulador. Logo, há mais rentabilidade e menor geração de carga de material poluente no meio ambiente. Esse sistema possui poucas peças móveis, pois todos os processos de regulação e comando acontecem de forma eletrônica, prolongando a vida útil do sistema. A Figura 6 ilustra o sistema common rail e seus componentes principais. (TILLMANN, 2013).

Figura 6 Sistema Acumulador ou Common Rail



Fonte: Podorodeczki (2016).

### 2.3 MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE INJEÇÃO

A importância da manutenção no motor é a forma mais apropriada de se ter um equipamento seguro e econômico, evitando desconforto inesperado. Porém, isso não tem ocorrido na prática. Na maioria dos casos, por causa de fatores como a falta de um

acompanhamento da manutenção periódica estabelecida pelo fabricante, os motores trabalham até apresentar falhas. Devido a essa negligência com a manutenção, os motores começam a ficar desregulados e passam consumir mais. No combate a emissão de poluentes e ao desgaste acelerado, uma simples e importante medida pode ser tomada, a conscientização da importância das manutenções preventivas, que devem ser realizadas conforme as especificações do manual do motor, antes de apresentarem falhas. (SILVA et al., 2013).

De acordo com SILVA et al., (2013), os métodos de manutenção no sistema convencional de injeção limitam-se praticamente as medidas preventivas, contra vazamentos ou entupimentos que prejudicam o bom funcionamento do motor. Contudo, deve verificar-se:

- Presença de vazamento nas tubulações;
- Condições de limpeza do tanque do combustível;
- Limpeza do pré-filtro e filtros principais;
- Funcionamento da bomba alimentadora, bomba injetora e bico injetor.

Normalmente, as oficinas mecânicas quando suspeitam de alguma irregularidade, desmontam o sistema de injeção, incluindo os injetores e os enviam a empresas que utilizam equipamentos adequados a este tipo de sistema. Técnicos especializados deverão efetuar ajustes na bomba e nos bicos de acordo com a rampa de injeção do motor. (SILVA et al., 2013).

## **2.4 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA**

A Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*) é uma ferramenta de gerenciamento de risco que consiste em sistematizar um grupo de atividades e é utilizada para identificar, avaliar e eliminar falhas potenciais ou conhecidas de sistemas, processos ou produtos antes que cheguem ao cliente. A partir da avaliação dessas falhas, é possível apontar suas causas e efeitos no desempenho dos sistemas, processos ou produtos, além de determinar seus impactos sobre o cliente.

Desta forma, o FMEA busca definir ações que objetivam reduzir, ou eliminar ou diminuir a probabilidade de ocorrência de falhas, por meio de planos de ação que direcionem as decisões focadas em melhoria e as classifiquem em termos de importância, visando aumentar a confiabilidade. (NORTEGUBISIAN, 2018).

As etapas para aplicação do FMEA se dividem em Planejamento, Análise de falhas em potencial, Avaliação dos riscos, Melhoria, Continuidade.

### **2.4.1 Planejamento**

Consiste na descrição dos objetivos e abrangência da análise, formação dos grupos de trabalho, planejamento de reuniões e preparação da documentação. (RODRIGUES, 2018).

### **2.4.1 Análise de Falhas em Potencial**

Consiste no preenchimento do formulário FMEA que possui os seguintes campos:

- Função e característica do produto ou processo;
- Tipo de falha potencial para cada função;
- Efeito do tipo de falha;
- Causa possível da falha;
- Controles atuais.

### **2.4.2 Avaliação dos Riscos**

São definidos pelo grupo os índices severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), é obtido o coeficiente de prioridade de risco (R) pela multiplicação dos três índices.

### **2.4.3 Melhoria**

Através dos conhecimentos, criatividade e outras técnicas como brainstorming, é possível listar todas as ações que podem ser tomadas para reduzir os riscos. Essas medidas são analisadas quanto a sua viabilidade e sendo então decididas quais serão implementadas. O controle do resultado dessas medidas é feito pelo próprio formulário FMEA.

### **2.4.4 Continuidade**

O formulário FMEA é um documento “vivo”, ou seja, uma vez feita a análise para um produto ou processo, esta deve ser revisada sempre que houverem alterações neste produto ou processo específico.

### 3 METODOLOGIA

Para analisar-se os modos de falha em sistema de injeção de combustível em motores Diesel, optou-se pelo estudo de dados experimentais reais dos bicos injetores, pois são os componentes principais do sistema de injeção e também são mais suscetíveis a falha. Este estudo só foi possível por intermédio e parceria com a empresa Amplexo Diesel, que permitiu acesso ao seu banco de dados, além dos detalhes informativos a respeito do processo de manutenção do sistema de injeção de combustível Diesel. A empresa Amplexo Diesel está situada na cidade de São José, Santa Catarina e atua na manutenção dos sistemas de injeção de combustível Diesel, dentre outros serviços de manutenção automotiva Diesel e gasolina.

#### 3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

As informações são oriundas de dados experimentais dos bicos e bombas injetoras recorrendo à Bancada de Teste de Bombas e Injetores Diesel - EPS 708, ilustrada na Figura 7.

Figura 7 - Bancada de Teste de Bombas e Injetores Diesel - EPS 708

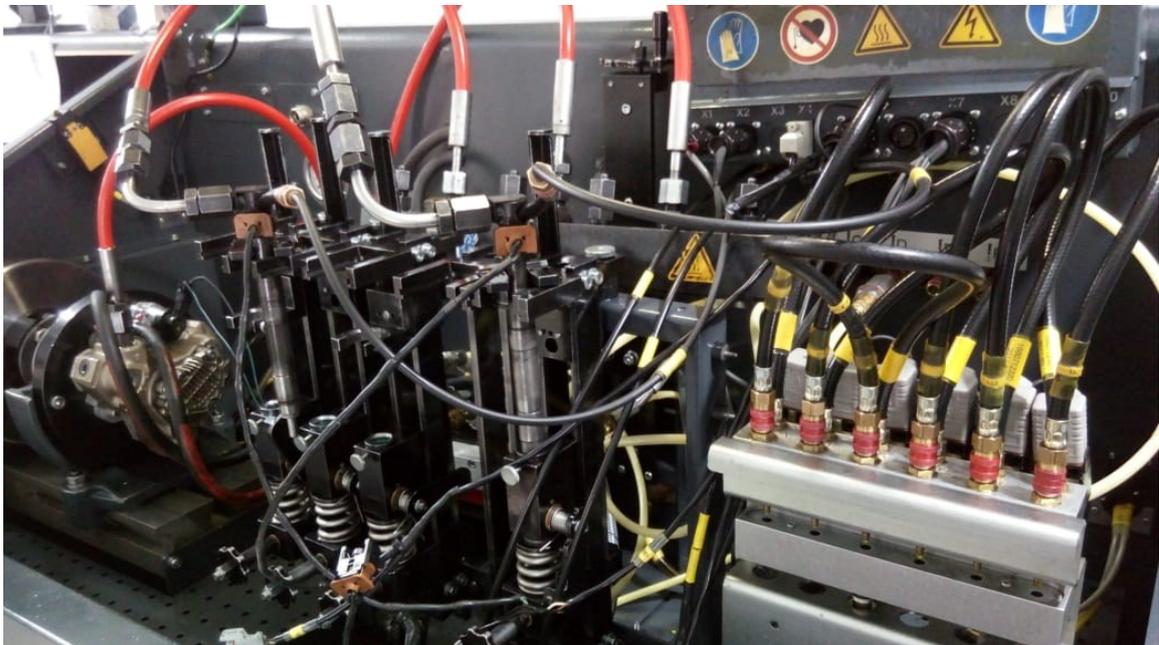


Fonte: Autor.

Esta bancada de teste simula o funcionamento dos bicos e bomba injetora, como se estivesse operando em um motor de combustão interna, porém sem que haja a queima do combustível. O óleo de teste é o ISO 4113, para garantir a vida útil da bancada de testes e como só há testes de estanqueidade, débito de injeção e retorno do combustível, não há necessidade de se utilizar o óleo Diesel.

Na Figura 8 pode-se ver a parte onde há o acoplamento dos bicos injetores e também para as bombas de alta pressão, contudo os bicos injetores são testados separadamente das bombas injetoras de alta pressão

Figura 8 - EPS 708



Fonte: Autor.

Para este trabalho optou-se por utilizar os laudos técnicos dos bicos injetores, pelo fato deste laudo apresentar mais dados e também pelos bicos injetores estarem mais susceptíveis a falha, como constado na fundamentação teórica. Contudo vale ressaltar que na prática e dia a dia da manutenção de sistemas de injeção ambos componentes bicos e bombas injetoras são testados para a avaliação completa do sistema de injeção de combustível.

### 3.1.1 Laudos técnicos

Para os bicos injetores a bancada EPS 708 opera 14 testes ou estágios, nas quais são medidos a temperatura, pressão no *common rail*, débito de injeção, retorno de combustível, emissões, dentre outros parâmetros dependendo do tipo de injetor testado. Os testes são nomeados e ordenados em:

1. *Start up* (Partida);
2. *Clean run injector* (Limpeza do injetor);
3. *Leak test injector* (Teste de estanqueidade do injetor);
4. *Conditioning Testbench* (Condicionamento teste de bancada);
5. *Warm up* (Aquecimento);
6. *Stabilizing injector* (Estabilizando injetor);
7. *Conditioning for VL point* (Condicionando para o teste Plena Carga);
8. *Measure point VL* (Ponto de medição do teste Plena Carga);
9. *Conditioning for EM point* (Condicionamento para o teste de Emissões);
10. *Measure point EM* (Ponto de medição teste de Emissões);
11. *Conditioning for LL point* (Condicionamento para o teste Marcha Lenta);
12. *Measure point LL* (Ponto de medição do teste Marcha Lenta);
13. *Conditioning for VE* (Condicionamento para o teste de Pré-injeção);
14. *Measure point VE* (Ponto de medição do teste Pré-injeção).

Nos anexos de A à D estão presentes todas as páginas e informações que a bancada de testes EPS 708 gera em forma de laudo técnico, que são os dados utilizados neste trabalho. Em alguns casos os testes apontam falha já no começo do processo, como por exemplo no teste 3, teste de estanqueidade, logo neste caso ele já precisa ser avaliado pelo técnico de manutenção, que faz a inspeção interna, desmontando-o e avaliando se é possível recuperá-lo ou não.

Todas as 14 etapas pelas quais os injetores são testados pela bancada, são essenciais para a validação da procedência destes componentes. Para esta análise escolheu-se utilizar apenas o teste 8 ou Teste de Plena Carga (VL), pois grande parte das falhas ocorre nesta etapa processo, logo há um número maior de informações disponíveis para a análise.

Em um motor Diesel 4 cilindros, possui 4 bicos injetores e o comportamento de cada injetor varia muito em relação as falhas dos seus injetores. Alguns casos, apenas 1 deles falha, as vezes 2 ou 3, ou até mesmo todos. O intuito destes testes é avaliar a condição de cada injetor e ver qual deles precisa realmente ser reparado, ou até mesmo condenado.

### 3.1.2 Parâmetros de testes

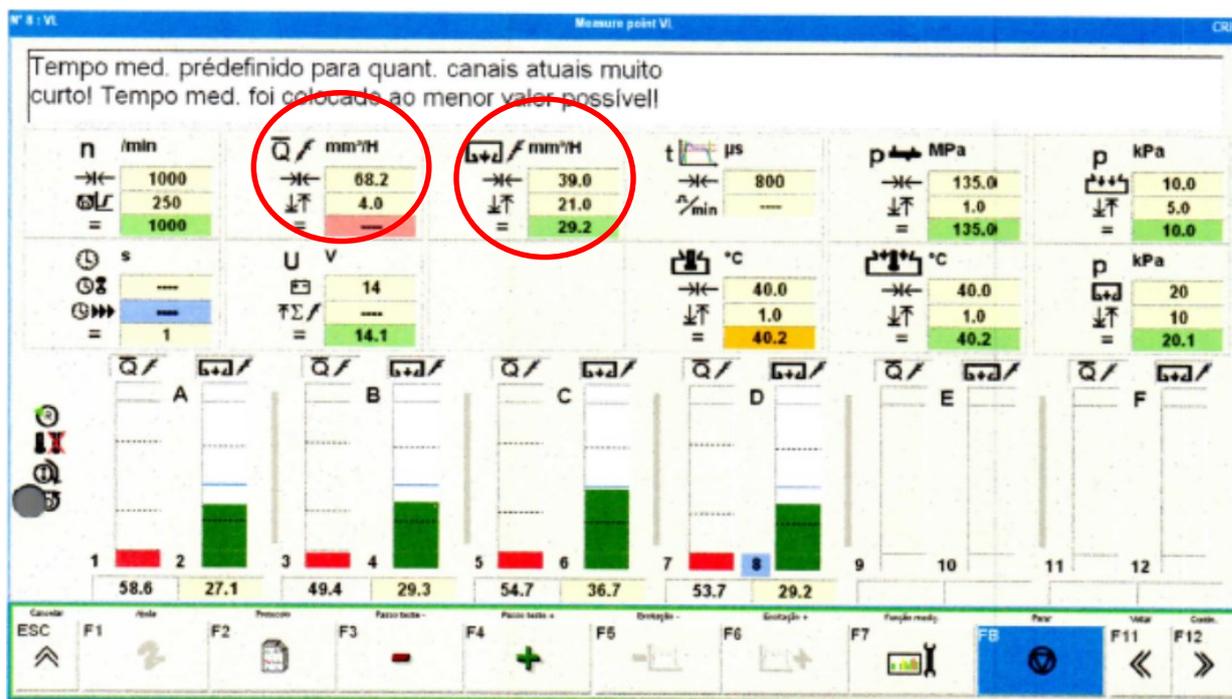
Os laudos gerados pela bancada, possuem uma grande gama de informações e neste trabalho optou-se pela análise do teste de plena carga pois, em grande parte dos laudos técnicos os injetores com defeito apresentam falha nesta etapa.

No teste de plena carga os dados principais medidos são o débito de injeção de combustível e o débito de retorno de combustível, estes valores possuem o valor nominal ou ideal de débito de injeção e débito de retorno, como também um valor limite de variância, como ilustrado na Figura 9, e destacados pelos círculos vermelhos. Esses dados nominais e limites variam para cada tipo de injetor e no laudo técnico ele sempre mostrado juntamente com os valores obtidos de cada injetor.

Como mostrado na Figura 9, o valor nominal de débito de injeção é  $68,2 \text{ mm}^3/\text{H}$  podendo variar a mais ou menos  $4 \text{ mm}^3/\text{H}$ . Os injetores são representados pelas letras A, B, C e D, com um gráfico de colunas representado na cor verde indicando que o valor é aceitável e vermelho que o valor está fora dos limites permitidos.

Abaixo de cada gráfico pode-se visualizar o valor medido do débito de injeção e do débito de retorno de cada injetor, como por exemplo, o injetor A teve  $58,6 \text{ mm}^3/\text{H}$  de débito de injeção, logo fora do padrão, por isso a cor vermelha indicativa; já para o mesmo injetor seu valor de débito retorno foi de  $27,1 \text{ mm}^3/\text{H}$ , logo está dentro da faixa de tolerância do fabricante.

Figura 9 - Teste de Plena Carga VL



Fonte: Adaptado de Amplexo.

Logo pelo exemplo do teste VL, mostrado na figura acima, é perceptível que os injetores A, B, C e D apresentam falha no débito de injeção, podendo ser consequência do entupimento dos orifícios de abertura do bico de injeção. Vale lembrar que este laudo serve também de referência, pois após efetuada a devida manutenção os testes são feitos novamente e desta forma é possível validar se o injetor está operando em condições ideais

### 3.1.3 Injetores testados

Após compreender e escolher os parâmetros a serem estudados, a outra etapa do trabalho foi a escolha dos injetores no banco de dados da empresa Amplexo Diesel. Para que pudesse haver uma análise comparativa entre o comportamento dos injetores escolheu-se apenas uma marca de injetores, e com aplicação de mesmo porte. Deste modo, a escolha foi feita pela marca que mais possuía laudos técnicos que é a marca Bosch.

A primeira parte do trabalho foi separar todos os laudos disponíveis pelas suas respectivas marcas, pois o banco de dados da Amplexo Diesel é separado pelo número da ordem de serviço. Tendo separado os injetores pelas marcas, a segunda etapa foi filtrá-los pelo seu número, ou modelo, para que averiguar quais possuem maiores quantidades de laudos técnicos disponíveis.

Os modelos com maior quantidade de laudos foram: 0445110141 com 23 amostras; 0445110231 com 15 amostras; 0445110273 com 12 amostras e 0445110520 com 11 amostras.

Vale ressaltar que muitos dos dados disponíveis, possuíam apenas o teste de um, dois, ou três injetores por laudo técnico, logo padronizou-se que cada amostra deveria possuir quatro injetores e que pelo menos um deles estivesse fora dos padrões de débito de injeção ou de retorno.

Esses modelos de injetores escolhidos possuem aplicação de médio porte, sendo assim as condições de operação são bem próximas, o que posteriormente permite avaliar o comportamento entre os modelos.

A Figura 10 ilustra o injetor 0445110141 a esquerda e o injetor 0445110231 a direita da imagem, e na Figura 11 está o injetor 0445110273 a esquerda e o injetor 0445110520 a direita da imagem.

Figura 10 - Injetores 0445110141 e 0445110231



Fonte: Autor.

Figura 11 - Injetores 0445110273 e 0445110520



Fonte: Autor.

### 3.1.3 CAUSAS DE FALHA NO SISTEMA DE INJEÇÃO

A falta de manutenção preventiva, como a troca de óleo e filtros pode contaminar o óleo Diesel, acrescentados impurezas, particulados e o mais nocivo ao sistema; a presença de água no combustível. A presença de água no Diesel danifica seriamente o sistema de injeção de combustível, em especial os bicos injetores. Sendo assim a forma mais efetiva de manutenibilidade do sistema de injeção de combustível é operar o motor com o combustível devidamente filtrado e livre da presença de água. (SILVA et al., 2013).

Na Figura 12 há 4 amostras de óleo Diesel S10, a amostra a esquerda pela própria coloração é possível perceber que não está devidamente filtrado. As seguintes amostras mostram as etapas de filtração até chegarem no último frasco de cor mais clara e homogênea onde o combustível encontra-se em condições ideais para seu uso.

Figura 12 - Comparativo Óleo Diesel S10



Fonte: Autor.

O mesmo princípio foi aplicado nas amostras da Figura 13 porém com o Diesel S500, e em ambos os casos a cor vai ficando mais clara e homogênea, Muitas vezes a contaminação do óleo Diesel também acontece devido ao Diesel que vem do retorno do sistema para o tanque de combustível em temperaturas mais elevadas e muitas vezes pelo tanque não estar completo, ele condensando na paredes do tanque.

Figura 13 - Comparativo Óleo Diesel S500



Fonte: Autor.

## 4 APRESENTAÇÃO DE DADOS

Tendo-se feito a coleta e separação dos injetores selecionados, as informações dos parâmetros do teste 14, ou teste de plena carga, foram tabulados por meio do programa Microsoft Excel (2016). Para cada injetor foi-se separado duas tabelas de dados; uma delas contemplando o parâmetro de débito de injeção dos quatro injetores de cada amostra, ou ordem de serviço (OS), e assim com uma tabela para o parâmetro do débito de retorno dos quatro injetores de cada amostra.

### 4.1 Dados Injetores Modelo 0445110141

Na Tabela 1 estão listado os valores de débito de injeção do injetor 0445110141, que possuem valor nominal de injeção de 68,2 mm<sup>3</sup>/H, aceitando variações de 4 mm<sup>3</sup>/H para máximo e para mínimo. Os valores destacados na cor vermelha se encontram fora dos limites aceitáveis pelo fabricante, logo é um indicativo de que o injetor apresenta falha.

Para uma melhor visualização dos dados contidos na Tabela 1, elaborou-se quatro gráficos, cada um representando uma coluna do injetor testado. Vale destacar que a numeração dos injetores dentro de cada amostra não interfere no estudo de análise de falha, é apenas uma forma de organizá-los. E a distribuição das amostras foi feita pela sua numeração de OS, também não interferindo a análise global desta tabela.

Tabela 1 - Débito de Injeção do Injetor 0445110141 - (mm<sup>3</sup>/H)

Ordem de Serviço (OS)	Injetor 1	Injetor 2	Injetor 3	Injetor 4	Mínimo	Nominal	Máximo
641	62,1	64,6	70	63,9	64,2	68,2	72,2
642	69,8	59,4	65,6	55,6	64,2	68,2	72,2
756	73,1	72,4	74,5	73	64,2	68,2	72,2
1279	77,3	57,1	75,8	57,3	64,2	68,2	72,2
2240	44,5	0	44,6	46,1	64,2	68,2	72,2
2299	60,9	63,9	61,2	0	64,2	68,2	72,2
2707	104,8	104,8	106,9	104,3	64,2	68,2	72,2
6344	67,6	61,9	74,8	73,3	64,2	68,2	72,2
7186	71,4	44,0	44,5	47,7	64,2	68,2	72,2
8556	66,8	71,3	70,7	66,5	64,2	68,2	72,2
8715	43,7	44,4	44,5	44,8	64,2	68,2	72,2
9128	70,7	66,9	73,4	72,1	64,2	68,2	72,2
9220	70,5	65,0	68,6	72,3	64,2	68,2	72,2
9626	60,1	57,9	56,1	41,5	64,2	68,2	72,2
10110	52,2	58,8	63,6	60,3	64,2	68,2	72,2
10452	62	60,9	57,6	49,7	64,2	68,2	72,2
10783	62,1	62,3	61,5	64,6	64,2	68,2	72,2
11314	44,9	72,3	74,7	0	64,2	68,2	72,2
11495	68,1	72,1	70,8	73	64,2	68,2	72,2
13546	62,5	58,2	63,8	61,6	64,2	68,2	72,2
13556	53,6	59,3	64,3	58,3	64,2	68,2	72,2
13747	57,3	56,4	60,4	62,1	64,2	68,2	72,2
13856	58,6	49,4	54,7	53,7	64,2	68,2	72,2

Fonte: Autor.

Na Figura 14 os laudos técnicos 2240, 2279, 2299, 8715, 10110, 10452, 10783, 11314, 13546, 13556, 13747 apresentam valores abaixo do limite mínimo de débito de injeção indicando que neste injetores as aberturas do bico estão parcialmente obstruídos. Desta forma, a quantidade de Diesel injetada é menor, logo o injetor perde eficiência e causa perda de potência no motor.

Ainda na Figura 14, os laudos técnicos 1279 e 2707 apresentam valor de débito de injeção acima do limite máximo, o que caracteriza um provável vazamento ou rompimento do bico injetor. As linhas do valor mínimo e máximo delimitam a faixa que o injetor poderia operar sem necessidade de reparos, e a linha de valor nominal é a condição ideal de seu funcionamento.

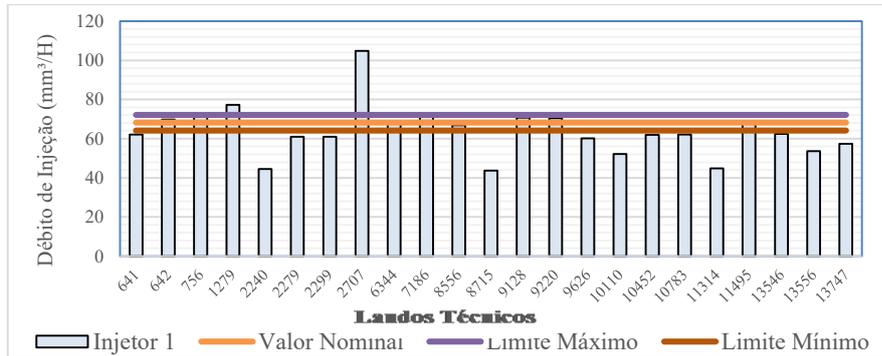
Na Figura 15 o laudo técnico 2240 apresenta valor nulo, indicando total obstrução na injeção de combustível neste injetor. Neste mesmo gráfico, os laudos técnicos 642, 1279, 6344, 7186, 8715, 9626, 10452, 13546, 13747 possuem valores abaixo do limite mínimo de débito de injeção, aferindo parcial entupimento nos orifícios destes bicos injetores. Os laudos técnico 1279 apresenta valor um pouco acima do limite máximo, e o 2707 apresenta um elevado débito de injeção indicando rompimento ou vazamento no injetor.

Na Figura 16 os laudos técnicos 2240, 2279, 2299, 7186, 8715, 9626, 10452, 13747 apontam valores abaixo do valor mínimo do débito de injeção, logo seus orifícios estão parcialmente bloqueados. Como nos gráficos anteriores o laudo técnico 2707 se destaca pelo elevado débito de injeção, indicando vazamento no bico injetor.

Na Figura 17 há total obstrução de injeção nos laudos técnicos 2279, 2299, 11314 logo nestes injetores não ocorrer a injeção de Diesel. Os laudos técnicos 642, 1279, 2240, 7186, 8715, 9626, 10110, 10452, 13546, 13747 apresentam valores inferior ao limite mínimo de débito de injeção, aferindo parcial obstrução dos orifícios do bico injetor.

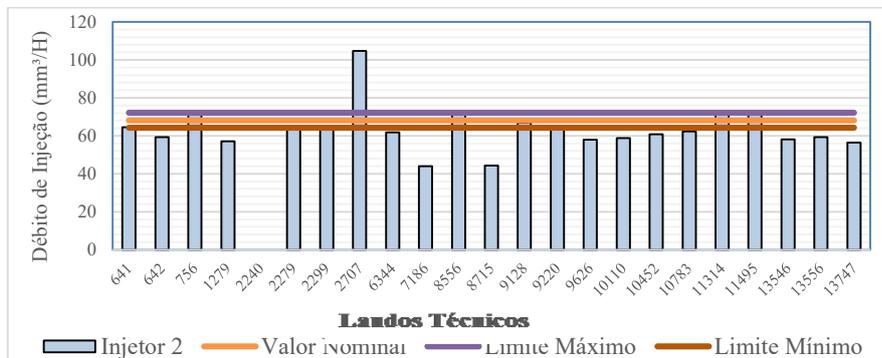
Pelos gráficos apresentados é perceptível que os laudos técnicos com o mesmo número apresentam comportamento semelhante ou quase igual em todos os gráficos citados, isto porque o laudo técnico representa o mesmo motor, que por sua vez estava exposto a mesma condição de operação, logo seus resultados tendem a ser semelhantes.

Figura 14 - Débito de Injeção Injetor 1 - 0445110141



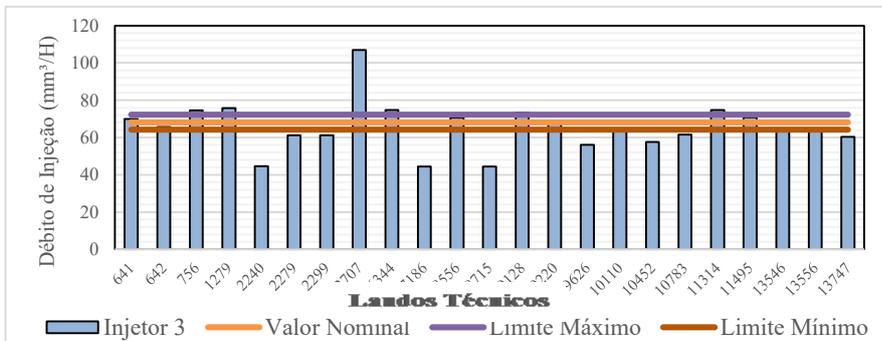
Fonte: Autor.

Figura 15 - Débito de Injeção Injetor 2 - 0445110141



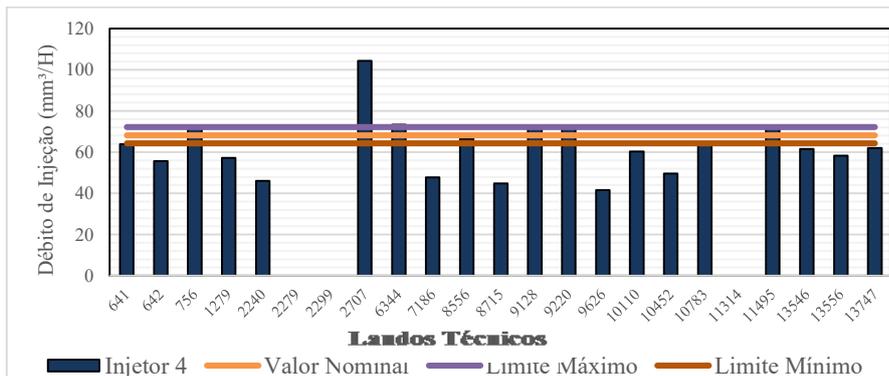
Fonte: Autor.

Figura 16 - Débito de Injeção Injetor 3 - 0445110141



Fonte: Autor.

Figura 17 - Débito de Injeção Injetor 4 - 0445110141



Fonte: Autor.

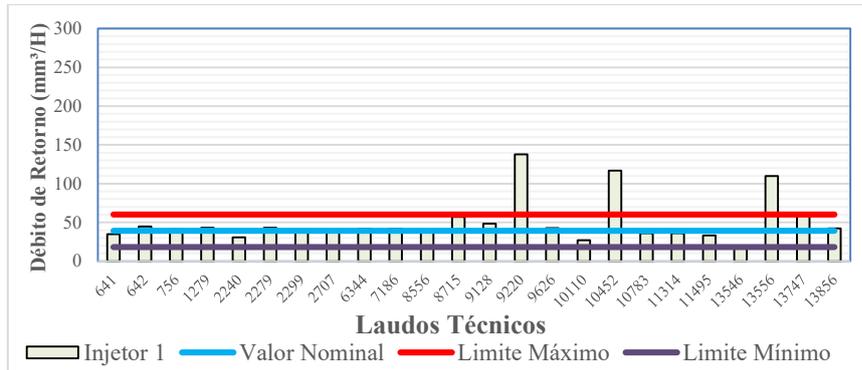
Na Tabela 2 estão apresentados os dados do débito de retorno do injetor 0445110141, seguindo a mesma forma de organização da tabela anterior. Tendo valor nominal de débito de retorno de 39 mm<sup>3</sup>/H e aceitando variações de 21 mm<sup>3</sup>/H para mais ou menos em relação ao valor nominal.

Tabela 2 - Débito de Retorno do Injetor 0445110141 - (mm<sup>3</sup>/H)

<b>Ordem de Serviço (OS)</b>	<b>Injetor 1</b>	<b>Injetor 2</b>	<b>Injetor 3</b>	<b>Injetor 4</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Nominal</b>	<b>Máximo</b>
641	34,9	66,6	47,2	53,8	18,0	39,0	60,0
642	44,9	43,8	37,1	43,4	18,0	39,0	60,0
756	43,3	50,1	46,2	38,9	18,0	39,0	60,0
1279	30,9	38,1	44,4	40,5	18,0	39,0	60,0
2240	42,9	78,0	44,8	45,9	18,0	39,0	60,0
2299	37,4	44,6	41,5	78,0	18,0	39,0	60,0
2707	41,8	68,7	71,9	77,2	18,0	39,0	60,0
6344	37,4	40	40,9	54,5	18,0	39,0	60,0
7186	57,2	57,0	72,0	53,9	18,0	39,0	60,0
8556	48,3	55,5	51,7	62,9	18,0	39,0	60,0
8715	137,8	91,2	88,9	116,6	18,0	39,0	60,0
9128	42,7	44,2	34,9	52,5	18,0	39,0	60,0
9220	27,0	29,7	27	27,7	18,0	39,0	60,0
9626	117	89,7	55,3	33,8	18,0	39,0	60,0
10110	36,1	39,0	49,1	41,4	18,0	39,0	60,0
10452	36,1	38,1	113,6	42,9	18,0	39,0	60,0
10783	33,4	31,0	29,0	36,6	18,0	39,0	60,0
11314	18,6	128	56,3	78,0	18,0	39,0	60,0
11495	109,7	43,8	95,4	61,5	18,0	39,0	60,0
13546	60,7	248,7	41,4	53,9	18,0	39,0	60,0
13556	42,4	48,8	52,5	46,1	18,0	39,0	60,0
13747	45,3	66,5	60,1	52,5	18,0	39,0	60,0
13856	27,1	29,3	36,7	29,2	18,0	39,0	60,0

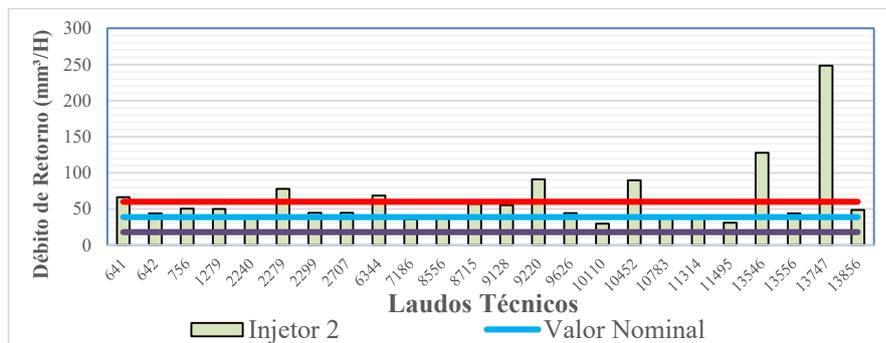
Fonte: Autor.

Figura 18 - Débito de Retorno Injetor 1- 0445110141



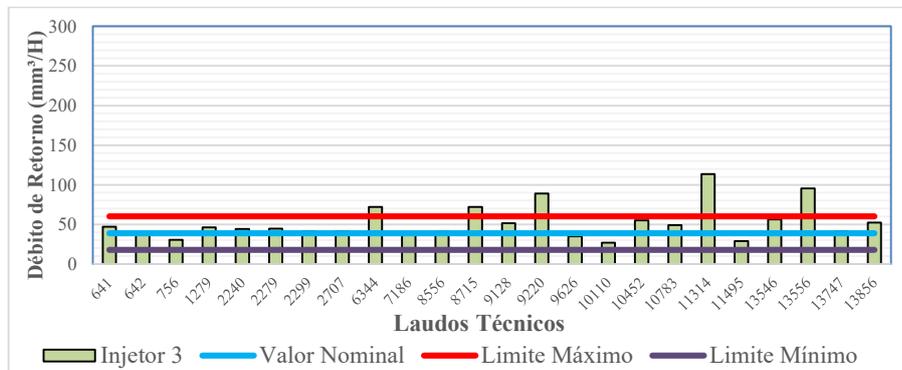
Fonte: Autor.

Figura 19 - Débito de Retorno Injetor 2- 0445110141



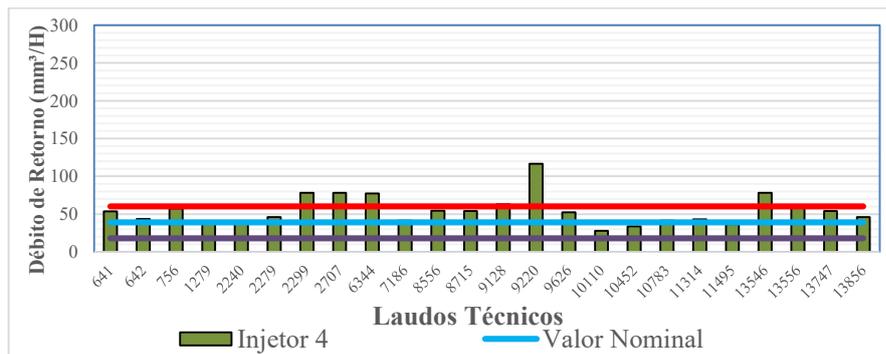
Fonte: Autor.

Figura 20 - Débito de Retorno Injetor 3- 0445110141



Fonte: Autor.

Figura 21- Débito de Retorno Injetor 4- 0445110141



Fonte: Autor.

Na Figura 18 os laudos técnicos 9220, 10452, 13556 valores acima do limite máximo permitido e na Figura 19 os laudos 641, 2279, 6344, 9220, 10452 estão com valores um pouco acima, o laudo 13546 já apresenta um valor mais elevado e o laudo 13747 aparece em destaque com o maior, tendo o maior débito de retorno.

Na Figura 20 os laudos técnicos 6344, 8715, 9220, 11314, 13556 apresentam valores um poucos mais elevados do que o limite máximo permitido e na Figura 21 os laudos que se encontram na mesma situação são 2299, 2707, 6344, 9220, 13546.

#### 4.2 Dados Injetores Modelo 0445110231

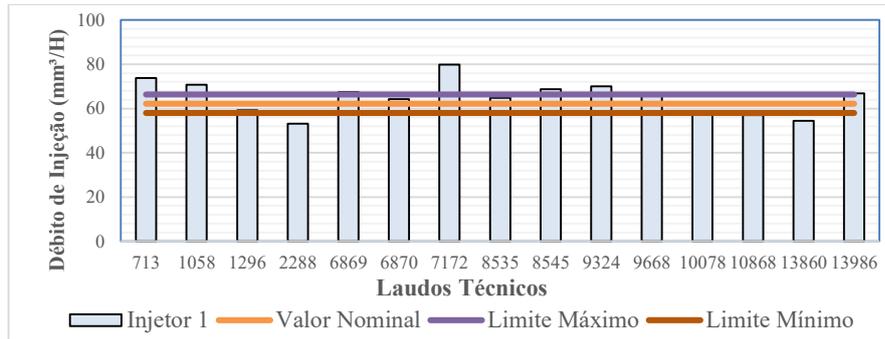
A Tabela 3 apresenta os laudos técnicos referente ao débito de injeção do modelo de injetor 0445110231, que tem valor nominal de 62,2 mm<sup>3</sup>/H e tendo limites de 4,2 mm<sup>3</sup>/H a mais ou a menos do valor nominal. E como nas tabelas anteriores, os valores em vermelho estão fora da variação permitida de débito de injeção.

Tabela 3- Débito de Injeção do Injetor 0445110231 - (mm<sup>3</sup>/H)

Ordem de Serviço (OS)	Injetor 1	Injetor 2	Injetor 3	Injetor 4	Mínimo	Nominal	Máximo
713	73,8	77,0	74,7	76,2	58,0	62,2	66,4
1058	70,8	78,4	67,8	74,8	58,0	62,2	66,4
1296	59,2	62,9	69,6	68,3	58,0	62,2	66,4
2288	53,2	57,0	69,4	47,7	58,0	62,2	66,4
6869	67,5	69,2	66,9	66,2	58,0	62,2	66,4
6870	64,3	58,5	63,0	62,7	58,0	62,2	66,4
7172	79,8	71,2	86,9	84,1	58,0	62,2	66,4
8535	64,8	65,9	64,7	72,6	58,0	62,2	66,4
8545	68,7	69,8	69,0	67,1	58,0	62,2	66,4
9324	70,1	66,3	73,0	76,7	58,0	62,2	66,4
9668	66,6	65,7	67,3	65,7	58,0	62,2	66,4
10078	59,0	59,7	73,1	69,2	58,0	62,2	66,4
10868	57,1	68,1	70,0	53,8	58,0	62,2	66,4
13860	54,4	69,0	65,6	60,8	58,0	62,2	66,4
13986	66,8	66,8	65,7	65,5	58,0	62,2	66,4

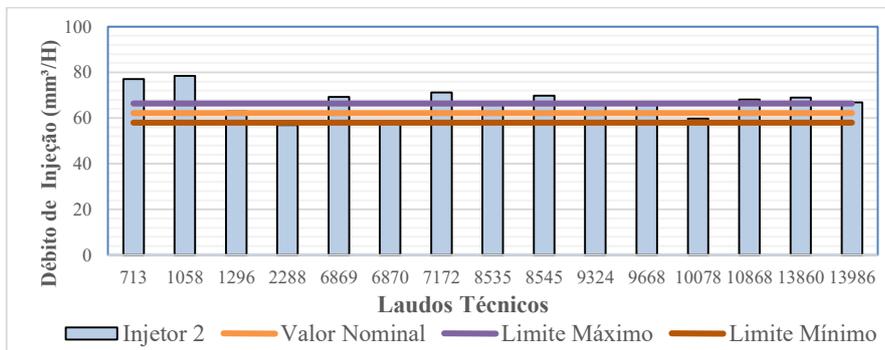
Fonte: Autor.

Figura 22 - Débito de Injeção Injetor 1 - 0445110231



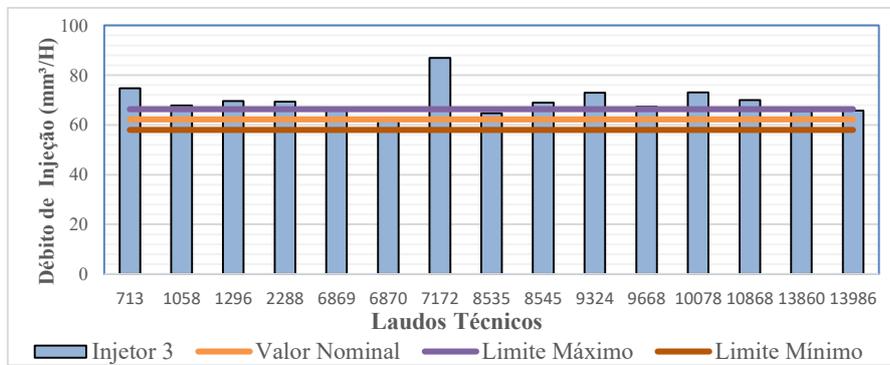
Fonte: Autor.

Figura 23 - Débito de Injeção Injetor 2 - 0445110231



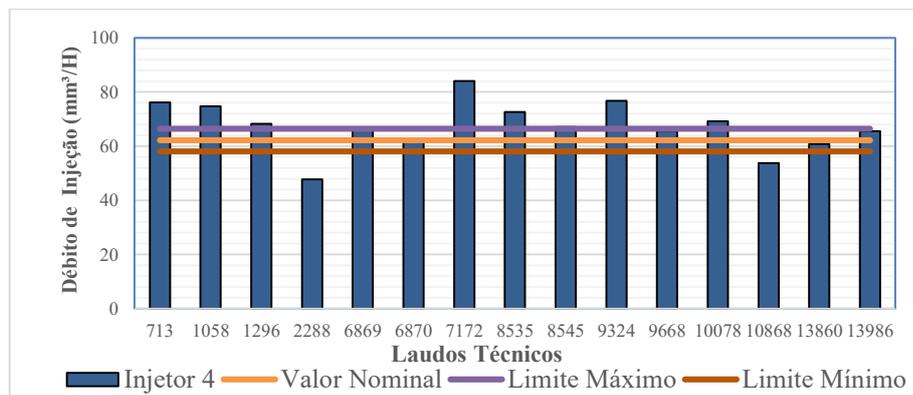
Fonte: Autor.

Figura 24 - Débito de Injeção Injetor 3 - 0445110231



Fonte: Autor.

Figura 25 - Débito de Injeção Injetor 4 - 0445110231



Fonte: Autor.

Na Figura 22 alguns laudos técnicos estão acima do limite máximo de débito de injeção que são os laudos técnicos 713, 1058, 6889, 7172, 8545, 9324 e na Figura 23 são os laudos 713, 1058, 6889, 7172, 8545, 10868, 13860 indicando possível vazamento ou rachadura nos bicos injetores. Ainda na Figura 22 os laudos 2288 e 13860 apresentam valores um pouco abaixo do limite inferior de débito de injeção indicando parcial entupimento dos bicos injetores.

Na Figura 24 os laudos 713, 1296, 2288, 7172, 8545, 9324, 10078, 10868 apresentam valores acima do limite máximo de débito de injeção e na Figura 25 são os laudos 713, 1058, 1296, 7172, 8535, 9324, 10078 indicando algum rompimento nos bicos injetores. A Figura 25 tem apenas os laudos 2288 e 10868 com valores abaixo do limite mínimo de débito de injeção, possivelmente por algum entupimento destes bicos injetores.

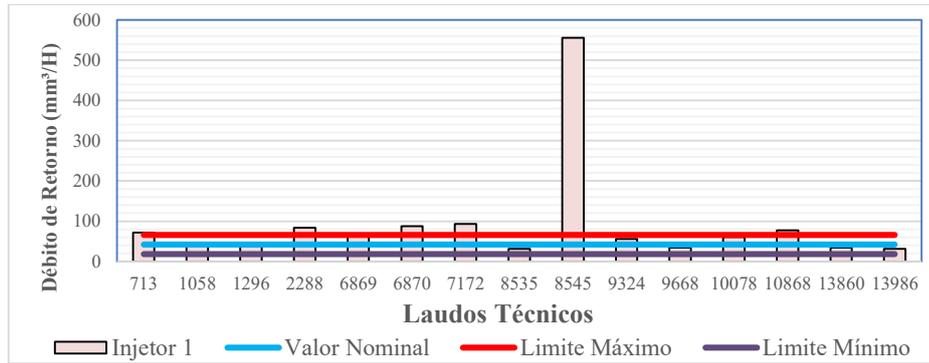
A Tabela 4 lista os dados dos laudos técnicos referente ao valor de débito de retorno do injetor 0445110231, que tem valor nominal de 42 mm<sup>3</sup>/H e variação de 24 mm<sup>3</sup>/h para mais ou menos do valor real.

Tabela 4 - Débito de Retorno do Injetor 0445110231 - (mm<sup>3</sup>/H)

<b>Ordem de Serviço (OS)</b>	<b>Injetor 1</b>	<b>Injetor 2</b>	<b>Injetor 3</b>	<b>Injetor 4</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Nominal</b>	<b>Máximo</b>
713	71,6	83	58,9	52,6	18	42	66
1058	43,1	152,2	58,7	402,7	18	42	66
1296	37,3	50,5	45,1	52,5	18	42	66
2288	84	84	84	84	18	42	66
6869	66,4	49,7	45,7	54,4	18	42	66
6870	87,5	55,3	46,5	45,8	18	42	66
7172	93,7	55,8	90,4	83,1	18	42	66
8535	31,3	38,5	35	42	18	42	66
8545	555,8	36	41,5	32,5	18	42	66
9324	55,7	59,5	64,4	56	18	42	66
9668	34,3	40,8	38,6	41,4	18	42	66
10078	61,1	95,4	88,6	66,9	18	42	66
10868	77,6	49,8	55,7	83,4	18	42	66
13860	34,8	126,4	52	42,7	18	42	66
13986	31,2	34,3	36,2	40,6	18	42	66

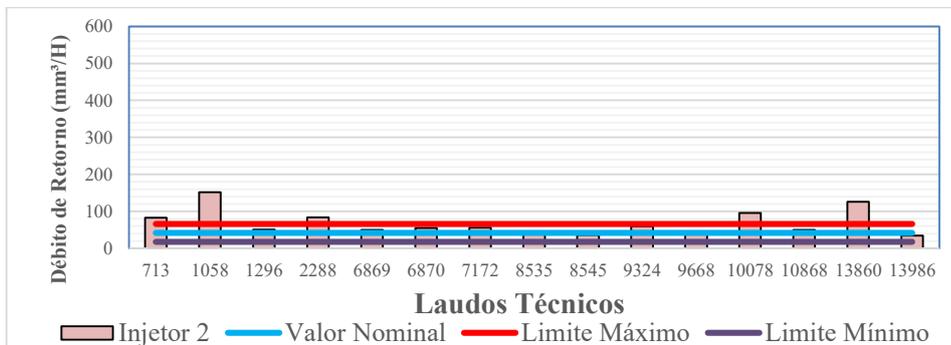
Fonte: Autor.

Figura 26 - Débito de Retorno Injetor 1- 0445110231



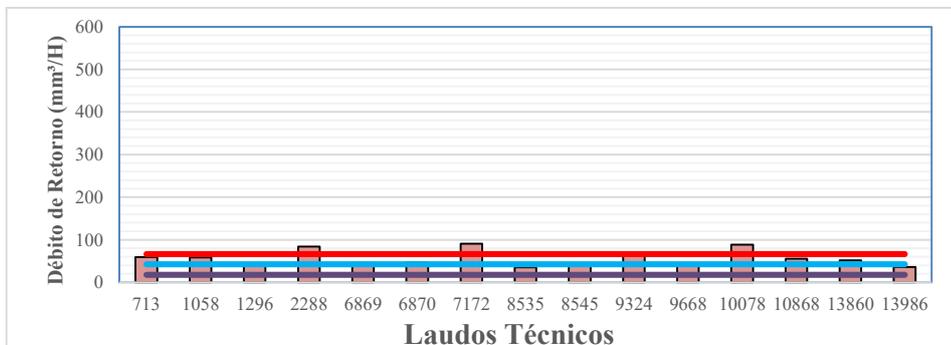
Fonte: Autor.

Figura 27 - Débito de Retorno Injetor 2- 0445110231



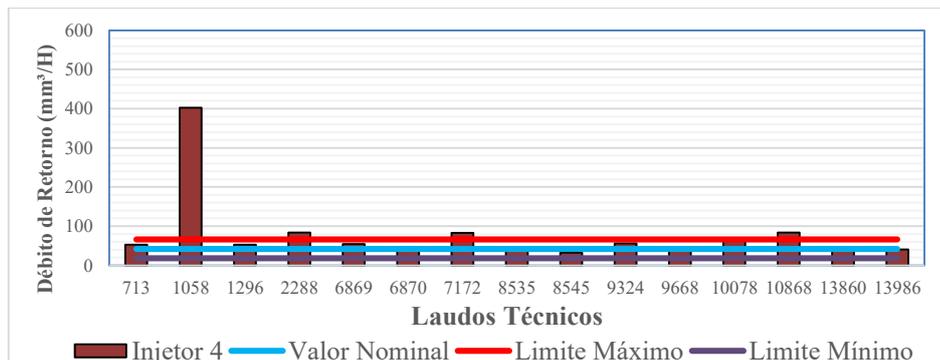
Fonte: Autor.

Figura 28 - Débito de Retorno Injetor 3- 0445110231



Fonte: Autor.

Figura 29 - Débito de Retorno Injetor 4- 0445110231



Fonte: Autor.

Os laudos técnicos ilustrados nas figuras anteriores do modelo 0445110231, apresentam poucas amostras com o valor do débito de retorno elevado. Contudo como destacado na Figura 26 o laudo técnicos 8545 tem uma valor de 555,8 mm<sup>3</sup>/H, cerca de 13 vezes mais o valor nominal isso indica uma gravíssimo falha no débito de retorno deste injetor e muito provavelmente este componente está condenado ao descarte.

Na Figura 27 apresenta os laudos técnicos 713, 1058, 2288, 10078, 13860 com valores um pouco acima do limite máximo de débito de retorno, o que neste caso possibilita ainda o reparo destes injetores. E na Figura 28 há uma situação bem similar com apenas os laudos 2288, 7172, 10078 com valores um pouco acima do permitido.

Na Figura 29 os laudos técnicos 2288, 7172, 10868 apresentam valores um pouco acima do limite máximo, já o laudo 1058 apresenta elevado débito de retorno, o que indica falha grave neste injetor. O restante das amostras se encontram em valores dentro ou próximo dos limites permitidos.

### 4.3 Dados Injetores Modelo 0445110273

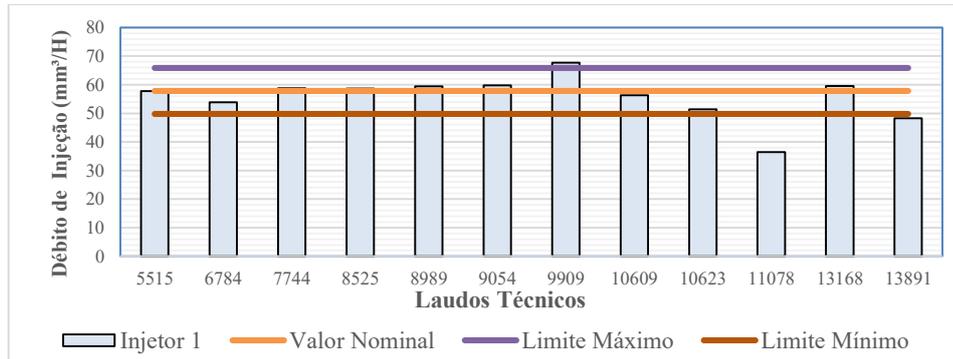
A Tabela 5 apresenta os valores laudos técnicos referente ao débito de injeção do modelo de injetor 0445110273, que possui valor nominal de 57,8 mm<sup>3</sup>/H e aceitando variações de mais ou menos 8 mm<sup>3</sup>/H. Como nas tabelas anteriores, os valores na cor vermelha representam os dados que estão fora dos limites aceitáveis de operação, e como pode-se observar apenas algumas amostras estão fora do padrão. Logo há um indicativo que boa parte das peças internas do injetor ainda estão em boas condições de uso.

Tabela 5 - Débito de Injeção do Injetor 0445110273 - (mm<sup>3</sup>/H)

Ordem de Serviço (OS)	Injetor 1	Injetor 2	Injetor 3	Injetor 4	Mínimo	Nominal	Máximo
5515	57,8	58	58,2	56,6	49,8	57,8	65,8
6784	53,9	57,6	56,5	54,8	49,8	57,8	65,8
7744	58,8	62,7	54,1	56,9	49,8	57,8	65,8
8525	58,7	66,3	49,8	62,2	49,8	57,8	65,8
8989	59,4	56,5	53,3	52	49,8	57,8	65,8
9054	59,8	59,5	61	59,7	49,8	57,8	65,8
9909	67,7	62,3	54,2	64,2	49,8	57,8	65,8
10609	56,3	54,6	74,7	57,6	49,8	57,8	65,8
10623	51,4	51,4	45,6	48,2	49,8	57,8	65,8
11078	36,4	52,9	55,3	60,8	49,8	57,8	65,8
13168	59,6	56,9	58	57,3	49,8	57,8	65,8
13891	48,3	49,9	51,8	51,5	49,8	57,8	65,8

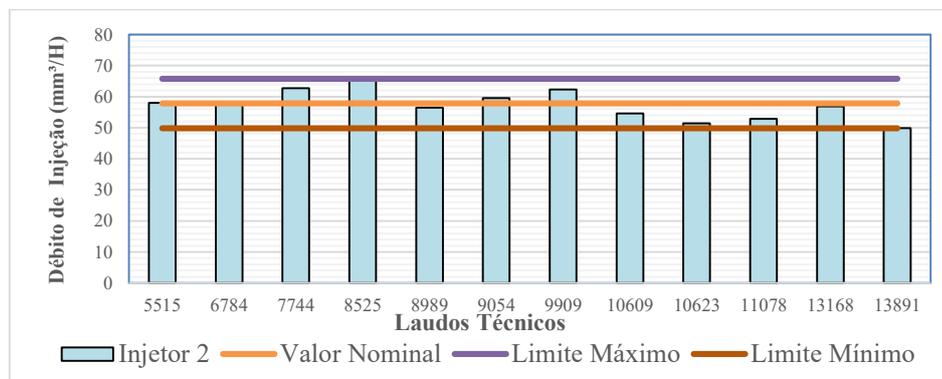
Fonte: Autor.

Figura 30 - Débito de Injeção Injetor 1 - 0445110273



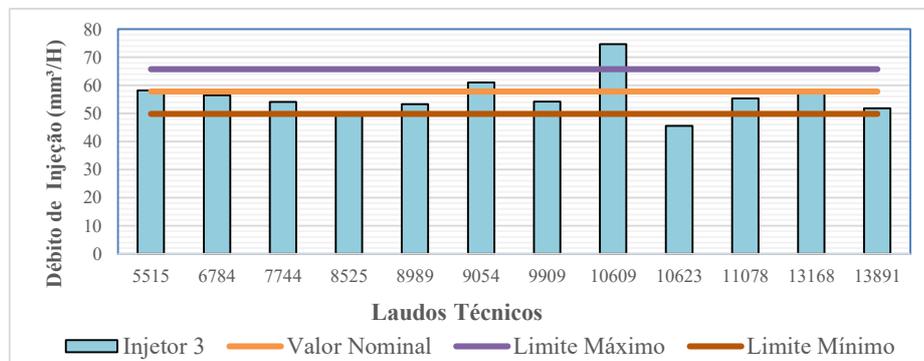
Fonte: Autor.

Figura 31 - Débito de Injeção Injetor 2 - 0445110273



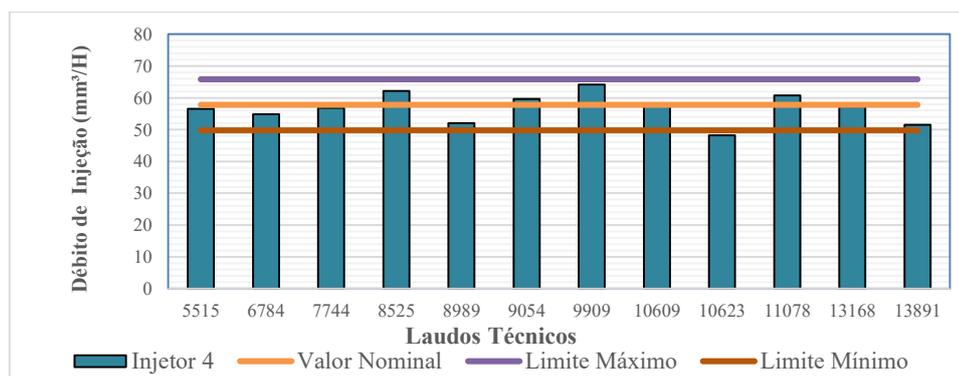
Fonte: Autor.

Figura 32 - Débito de Injeção Injetor 3 - 0445110273



Fonte: Autor.

Figura 33 - Débito de Injeção Injetor 4 - 0445110273



Fonte: Autor.

Os gráficos referentes ao débito de injeção do modelo de injetor 0445110273 ilustram de forma melhor que grande maioria dos laudos técnicos se encontra próximo do valor nominal e tendo apenas um valor destoante na Figura 32 no laudo técnico 10609 com o valor de 74,7 mm<sup>3</sup>/H.

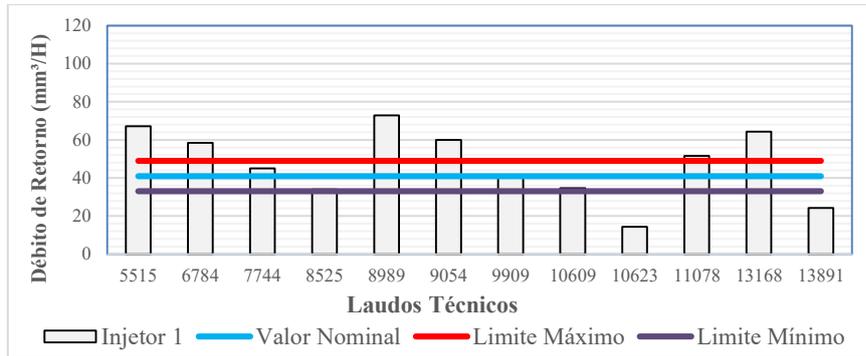
A Tabela 6 apresenta os dados do débito de retorno do injetor 0445110273, que tem valor nominal de 41 mm<sup>3</sup>/H e limites de mais ou menos 8 mm<sup>3</sup>/H. Os valores em vermelho ilustram os dados que estão fora da faixa de aceitação do fabricante.

Tabela 6 - Débito de Retorno do Injetor 0445110273 - (mm<sup>3</sup>/H)

<b>Ordem de Serviço (OS)</b>	<b>Injetor 1</b>	<b>Injetor 2</b>	<b>Injetor 3</b>	<b>Injetor 4</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Nominal</b>	<b>Máximo</b>
5515	67,1	53,2	49,5	52,2	33	41	49
6784	58,5	42,9	40,6	66,6	33	41	49
7744	45,1	56,1	58,2	70,6	33	41	49
8525	33,9	52,9	52,4	75,9	33	41	49
8989	72,9	78,4	96,5	114,1	33	41	49
9054	59,9	71,3	75,6	44,8	33	41	49
9909	40,6	73,9	43,3	61,6	33	41	49
10609	34,6	61,4	36,1	72,8	33	41	49
10623	14,3	9,1	11,6	16,8	33	41	49
11078	51,6	48,8	63,6	64,4	33	41	49
13168	64,3	51,2	89,6	34,9	33	41	49
13891	24,3	27,9	29,4	25,6	33	41	49

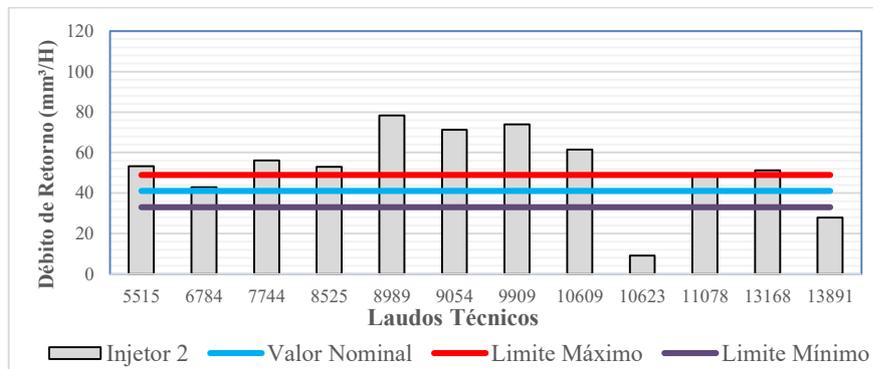
Fonte: Autor.

Figura 34 - Débito de Retorno Injetor 1 - 0445110273



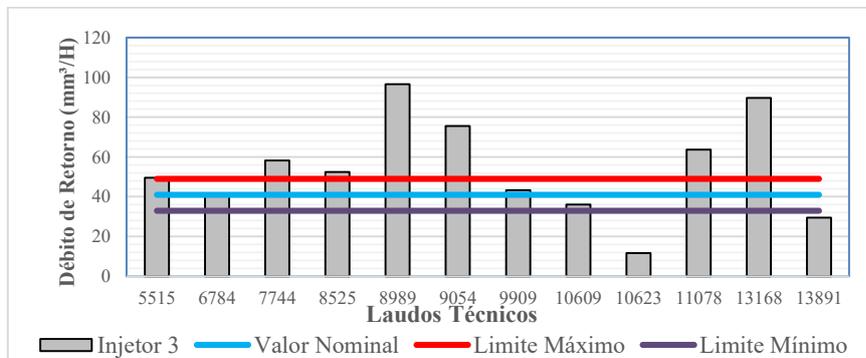
Fonte: Autor.

Figura 35 - Débito de Retorno Injetor 2 - 0445110273



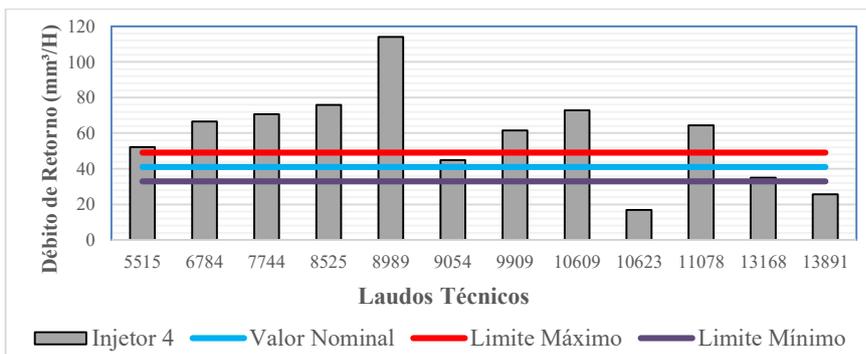
Fonte: Autor.

Figura 36 - Débito de Retorno Injetor 3 - 0445110273



Fonte: Autor.

Figura 37 - Débito de Retorno Injetor 4 - 0445110273



Fonte: Autor.

Na Figura 34 os laudos 5515, 6784, 8989, 9054, 13168 apresentam débito de retorno acima do limite máximo permitido e os laudos 10623 e 13891 apresentam débito de retorno abaixo do limite mínimo.

Na Figura 35 os laudos 5515, 7744, 8525, 8989, 9054, 9909, 10609 indicam valores acima do limite máximo permitido de débito de retorno e os laudos 10623 e 13891 os valores estão abaixo do limite mínimo.

Na Figura 36 os laudos 7744, 8525, 8989, 11078, 13168 apresentam valores acima do permitido, com destaque para 8989 e 13168 que possuem valores acima do dobro permitido, o que indica que dificilmente será possível reparar estes injetores.

Na Figura 37 os laudos acima do padrão são o 5515, 6784, 7744, 8525, 8989, 9909, 10609, 11078, com destaque para o laudo 8989 com o valor quase 3 vezes maior do que o nominal.

#### 4.4 Dados Injetores Modelo 0445110520

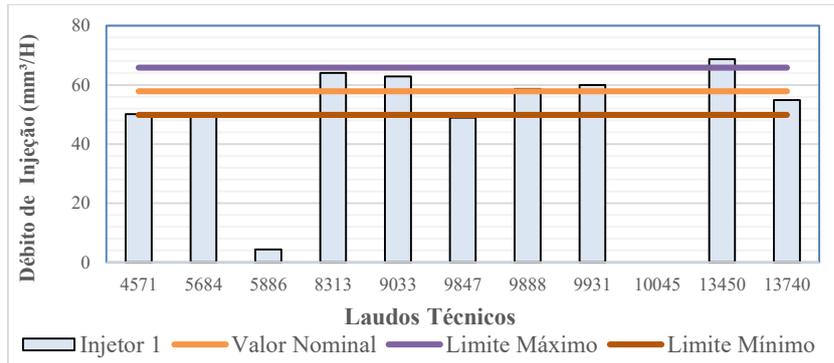
A Tabela 7 apresenta os dados do valor do débito de injeção do modelo de injetor 0445110520, que possui valor nominal de 59,6 mm<sup>3</sup>/H e aceitando variações de mais ou menos 8 mm<sup>3</sup>/H.

Tabela 7 - Débito de Injeção do Injetor 0445110520 - (mm<sup>3</sup>/H)

Ordem de Serviço (OS)	Injetor 1	Injetor 2	Injetor 3	Injetor 4	Mínimo	Nominal	Máximo
4571	50,1	58,8	64,5	46,6	51,6	59,6	67,6
5684	49,7	27,3	49,6	55,6	51,6	59,6	67,6
5886	4,3	0	0	0	51,6	59,6	67,6
8313	64	77,3	60,3	68,7	51,6	59,6	67,6
9033	62,9	61,8	70,4	0	51,6	59,6	67,6
9847	48,9	54,1	56,2	0	51,6	59,6	67,6
9888	58,6	58,3	0	57,3	51,6	59,6	67,6
9931	60	68,7	60,9	60	51,6	59,6	67,6
10045	0	64,5	59,1	59,3	51,6	59,6	67,6
13450	68,7	64,2	69,9	61,3	51,6	59,6	67,6
13740	54,9	53,9	53,2	55,1	51,6	59,6	67,6

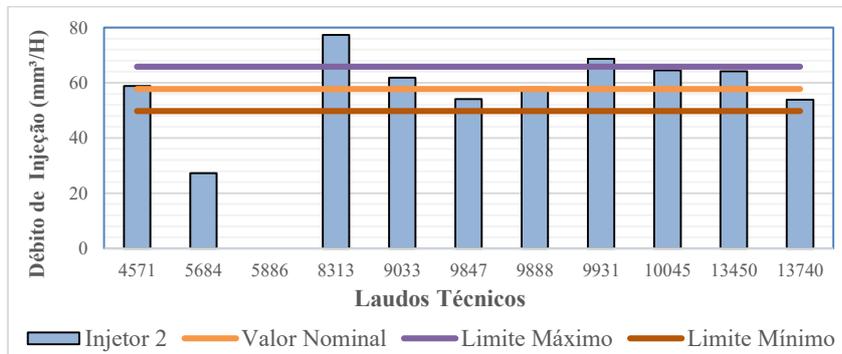
Fonte: Autor.

Figura 38 - Débito de Injeção Injetor 1 - 0445110520



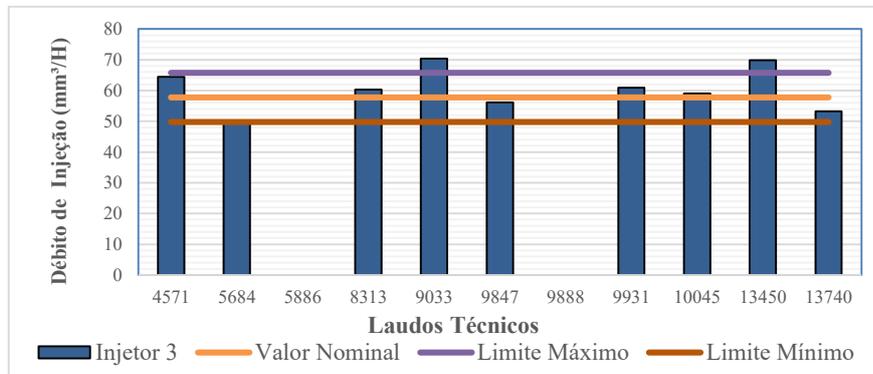
Fonte: Autor.

Figura 39 - Débito de Injeção Injetor 2 - 0445110520



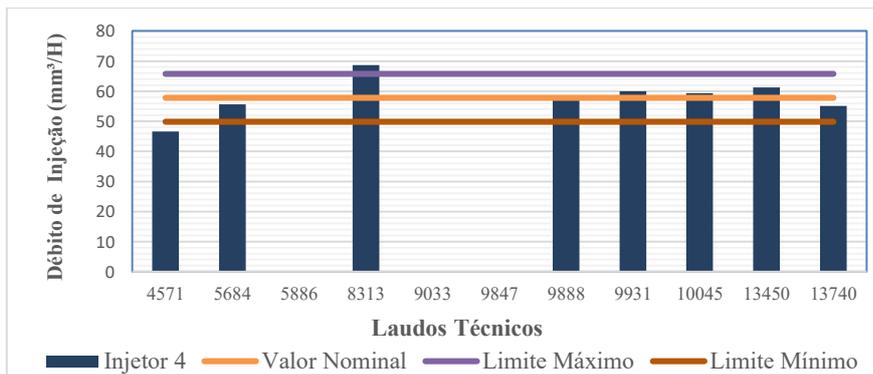
Fonte: Autor.

Figura 40 - Débito de Injeção Injetor 3 - 0445110520



Fonte: Autor.

Figura 41 - Débito de Injeção Injetor 4 - 0445110520



Fonte: Autor.

Na Figura 38 o laudo técnico 5886 o injetor quase não injeta mais combustível, indicando quase total entupimento e no laudo 10045 não há injeção de combustível, logo há total obstrução do bico injetor.

Na Figura 39 o laudo 5684 apresenta valor bem abaixo do limite mínimo de débito de injeção, e o laudo 5886 possui valor nulo de injeção de combustível indicando total entupimento do bico injetor.

Na Figura 40 os laudos 5886 e 9888 apresentam valores nulos de débito de injeção logo estes injetores se encontram totalmente fora de operação. Na Figura 41 o laudo 4571 apresenta valor um pouco abaixo do limite mínimo permitido, o laudo 8313 está um pouco acima do limite máximo e os laudos 5886, 9033, 9847 não apresentam nenhum valor de débito de injeção logo estes injetores encontram em falha total de injeção de combustível.

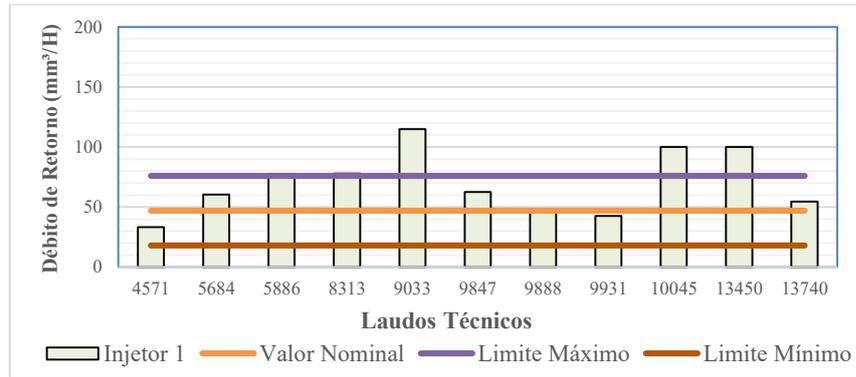
A Tabela 8 lista os dados de débito de retorno do modelo de injetor 0445110520, que possui valor nominal de 47 mm<sup>3</sup>/h e possuindo limite mínimo de 18 mm<sup>3</sup>/H e limite máximo de 76 mm<sup>3</sup>/H. Os valores em vermelho destacam os dados de débito de retorno fora dos padrões indicados pelo fabricante.

Tabela 8 - Débito de Retorno do Injetor 0445110520 - (mm<sup>3</sup>/H)

<b>Ordem de Serviço (OS)</b>	<b>Injetor 1</b>	<b>Injetor 2</b>	<b>Injetor 3</b>	<b>Injetor 4</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Nominal</b>	<b>Máximo</b>
4571	33,2	40,3	40,9	34,4	18	47	76
5684	60,4	159,4	40,7	110,2	18	47	76
5886	77,6	22,2	98,7	180,1	18	47	76
8313	77,9	45,9	72,6	53,6	18	47	76
9033	114,9	126,5	162,7	100	18	47	76
9847	62,6	56,3	54,4	100	18	47	76
9888	46,8	97,7	100	65,2	18	47	76
9931	42,6	124,7	51,4	44,6	18	47	76
10045	100	99,9	51,9	77,7	18	47	76
13450	100	100	100	100	18	47	76
13740	54,5	42,4	95,6	70,4	18	47	76

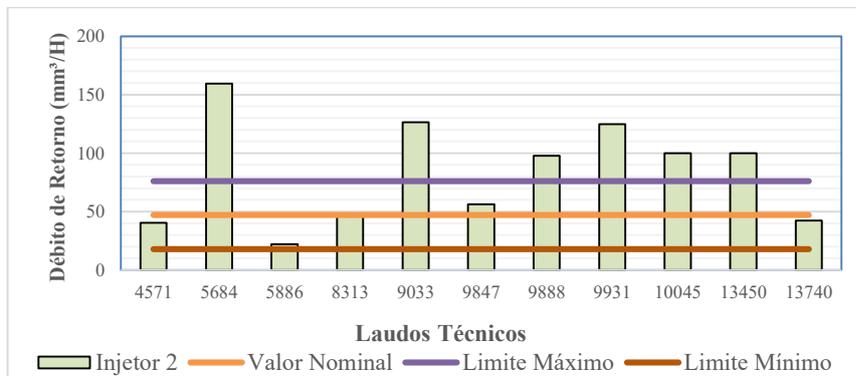
Fonte: Autor.

Figura 42 - Débito de Retorno do Injetor 1 - 0445110520



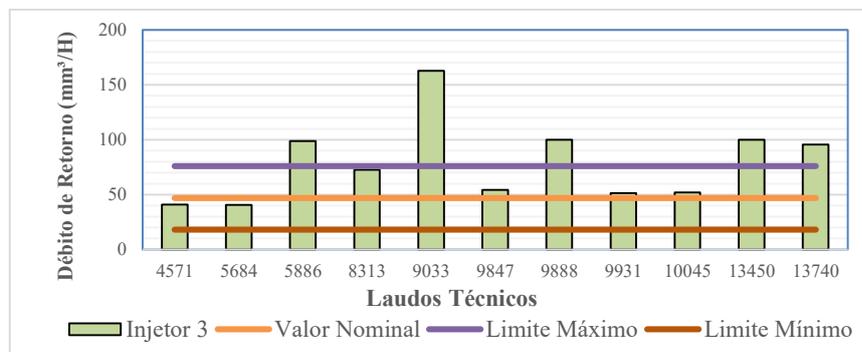
Fonte: Autor.

Figura 43 - Débito de Retorno do Injetor 2 - 0445110520



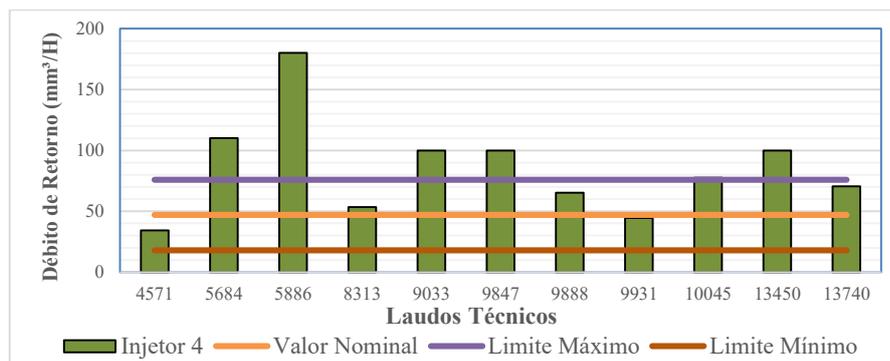
Fonte: Autor.

Figura 44 - Débito de Retorno do Injetor 3 - 0445110520



Fonte: Autor.

Figura 45 - Débito de Retorno do Injetor 4 - 0445110520



Fonte: Autor.

As figuras ilustradas anteriormente apresentam vários laudos técnicos com elevados valores de débito de retorno, como por exemplo os laudos técnicos 9033, 10045 e 13450 da Figura 42; 5684, 9033, 90888, 9931, 10045 e 13450 do injetor 2 da Figura 43; 5886, 9033 e 9888, 13540 e 13740 da Figura 44; 5684, 5886, 9033, 9847 e 13740 da Figura 45.

Logo é perceptível que neste modelo de injetor 044511520 há falhas na injeção de combustível tanto na parte do débito de injeção, como também no débito de retorno do combustível.

## 5 RESULTADOS

Tendo os resultados tabulados e representados graficamente é possível analisar o comportamento dos bicos injetores no teste de plena carga em relação aos parâmetros do débito de injeção e o débito de retorno.

Os modos de falha nestes injetores levaram em consideração apenas o teste de plena carga, ou VL, e em cada amostra (laudo técnico) havia pelo menos um injetor fora do padrão de débito de injeção ou débito de retorno. Para o teste VL, os modos de falha se classificam da seguinte forma; para o débito de injeção: em baixo (valores abaixo ao nominal) e alto (valores acima do nominal); e para o débito de retorno: em alto (valores acima do nominal).

### 5.1.1 Análise de Dados Injetores Modelo 0445110141

Por meio da análise dos dados da Tabela 1 e pelos gráficos do débito de injeção obtidos pode-se extrair que para o modelo de injetor 0445110141, com um total de 92 injetores, 54 injetores têm valor nominal abaixo do limite mínimo, 16 injetores acima do limite máximo, e restando 68 injetores com valores dentro do limite aceitável de débito de injeção. A Tabela 9 apresenta o resumo dos valores do débito de injeção e o seu valor percentual em relação a quantidade de amostras.

Tabela 9 - Análise Débito de Injeção 0445110141

<b>Limites</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Percentual</b>
<b>Acima</b>	16	17,39%
<b>Dentro</b>	22	23,91%
<b>Abaixo</b>	54	58,70%
<b>Total</b>	92	100,00%

Fonte: Autor.

Pela análise dos dados da Tabela 2 e os gráficos do débito de retorno é possível analisar-se que para o modelo de injetor 0445110141, no total de 92 injetores, 24 apresentaram valores fora do padrão nominal e 64 dentro do limite do fabricante. A Tabela 10 apresenta o percentual dos valores dentro e fora do padrão de débito de retorno.

Tabela 10 - Análise Débito de Retorno 0445110141

<b>Limites</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Percentual</b>
<b>Acima</b>	24	26,09%
<b>Dentro</b>	68	73,91%
<b>Abaixo</b>	0	0,00%
<b>Total</b>	92	100,00%

Fonte: Autor.

### 5.1.2 Análise de Dados Injetores Modelo 0445110231

Por intermédio da análise dos dados da Tabela 11 e os gráficos gerados para os valores de débito de injeção do modelo de injetor 0445110231 obteve-se em um total de 60 injetores, 6 têm valor abaixo do limite inferior, 35 possuem valor acima do limite máximo, e restando 16 injetores com valores dentro da faixa permitida de operação.

Tabela 11 - Análise Débito de Injeção 0445110231

<b>Limites</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Percentual</b>
<b>Acima</b>	35	58,33%
<b>Dentro</b>	19	31,67%
<b>Abaixo</b>	6	10,00%
<b>Total</b>	60	100,00%

Fonte: Autor.

Analisando as informações da Tabela 4 e seus respectivos gráficos de débito de retorno do modelo de injetor 0445110231, foi registrado um total de 60 injetores, sendo 20 fora do padrão do valor nominal e com 40 injetores dentro da faixa de operação permitida.

Tabela 12 - Análise Débito de Retorno 0445110231

<b>Limites</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Percentual</b>
<b>Acima</b>	20	33,33%
<b>Dentro</b>	40	66,67%
<b>Abaixo</b>	0	0,0%
<b>Total</b>	60	100,00%

Fonte: Autor.

### 5.1.3 Análise de Dados Injetores Modelo 0445110273

Por meio da análise dos dados da Tabela 13 e seus relativos gráficos de débito de injeção do modelo de injetor 0445110273, obteve-se o total de 48 injetores, onde 3 estão acima do limite máximo, 2 possuem valor abaixo do limite mínimo e 43 estão com os valores dentro da faixa de operação.

Tabela 13 - Análise Débito de Injeção 0445110273

<b>Limites</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Percentual</b>
<b>Acima</b>	3	6,25%
<b>Dentro</b>	43	89,58%
<b>Abaixo</b>	2	4,17%
<b>Total</b>	48	100,00%

Fonte: Autor.

Por intermédio da análise das informações da Tabela 6 e seus respectivos gráficos de débito de retorno do modelo de injetor 0445110273, constatou-se o total de 48 injetores, onde 15 estão com valores acima do valor nominal, 4 estão com valores abaixo do limite mínimo e 29 injetores com os valores aceitáveis de operação.

Tabela 14 - Análise Débito de Retorno 0445110273

<b>Limites</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Percentual</b>
<b>Acima</b>	15	31,25%
<b>Dentro</b>	29	60,42
<b>Abaixo</b>	4	8,33%
<b>Total</b>	48	100,00%

Fonte: Autor.

### 5.1.4 Análise de Dados Injetores Modelo 0445110520

A análise dos dados da Tabela 15 e seus respectivos gráficos de débito de injeção do modelo de injetor 0445110520, observou-se o total de 44 injetores, onde 14 estão abaixo do limite mínimo, 7 estão acima do valor máximo em relação ao valor nominal, e com 23 injetores com valores dentro da faixa permitida de operação.

Tabela 15 - Análise Débito de Injeção 0445110520

<b>Limites</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Percentual</b>
<b>Acima</b>	7	15,91%
<b>Dentro</b>	23	52,27%
<b>Abaixo</b>	14	31,82%
<b>Total</b>	48	100,00%

Fonte: Autor.

Por meio da análise das informações da Tabela 16 e seus respectivos gráficos de débito de retorno do modelo de injetor 0445110520, obteve-se o total de 44 injetores, na qual 22 estavam com o valor acima do nominal e os outros 22 injetores encontram-se na faixa de operação permitida pelo fabricante.

Tabela 16 - Análise Débito de Retorno 0445110520

<b>Limites</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Percentual</b>
<b>Acima</b>	22	50,00%
<b>Dentro</b>	22	50,00%
<b>Abaixo</b>	0	0,00%
<b>Total</b>	48	100,00%

Fonte: Autor.

### 5.1.5 Análise dos Modos de Falha dos Injetores

Os modos de falha e suas consequências no motor foram disponibilizadas pela Amplexo Diesel para o teste de plena carga, da seguinte forma; reduzido débito de injeção: motor fica fraco, ou perde potência; elevado débito de injeção: motor pode fazer fumaça e caso tenha sistema ARLA pode acusar defeito no mesmo; e para o alto débito de retorno o motor não funciona mais depois de aquecido.

Pelos resultados avaliados nas Tabela 9 e Tabela 10 constata-se que o modo de falha predominante do modelo de injetor 0445110141 é o reduzido débito de injeção, pois este representa 58,70% dos injetores e para o débito de retorno apenas 26,09% dos injetores estão com valores acima do nominal. Logo a falha nesse modelo de injetor está relacionada a obstrução dos orifícios do bico injetor o que resulta na perda de potência no motor Diesel.

A análise dos dados das Tabela 11 e Tabela 12 compreende-se que o modo de falha principal do modelo de injetor 0445110231 é o alto débito de injeção porque representa 58,33% dos injetores e para os dados de débito de retorno há meramente 33,33% dos injetores com valores acima do nominal. Portanto também neste caso a falha nos injetores está mais ligada ao rompimento ou vazamento do bico injetor, conseqüentemente o motor pode gerar fumaça.

Para os dados obtidos nas Tabela 13 e Tabela 14, conclui-se para o modelo de injetor 0445110273 há poucas falhas para o débito de injeção representando apenas 6,25% para valores acima do limite máximo e 4,17% para valores abaixo do limite mínimo. Tendo a representatividade maior nas falhas relacionadas ao alto débito de retorno com 31,25%, que por consequência pode causar falha após o motor estar aquecido.

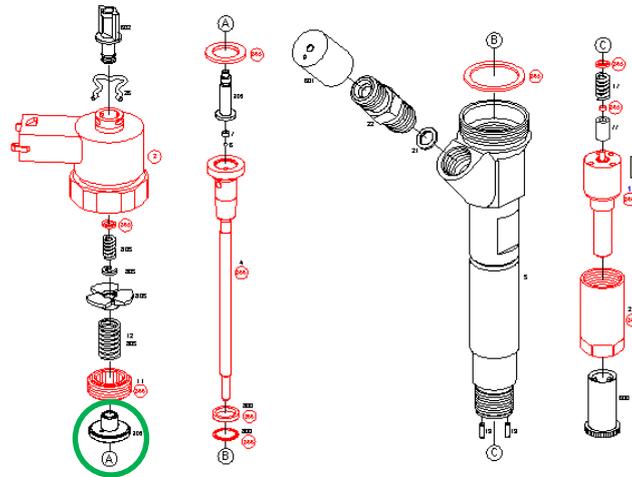
Analisando-se os resultados das Tabela 15 e Tabela 16 entende-se que para o modelo de injetor 0445110520 existe 31,82% dos injetores valores abaixo valor de débito de injeção e apenas 15,91% dos injetores com valores acima. O grande destaca se mostra para os dados do débito de retorno com 50,0% dos injetores apresentando valores acima do nominal, o que conseqüentemente leva a falha no motor após ele estar aquecido.

### **5.1.6 Análise dos Modos de Falha do Injetor 0445110520**

Tendo em vista os resultados obtidos na seção anterior é evidente que apesar de os modelos de injetores utilizados serem da mesma marca e terem aplicação no mesmo porte de motores, linha Diese leve, seus modos de falha variam e com destaque para o alto percentual do débito de retorno do modelo 0445110520.

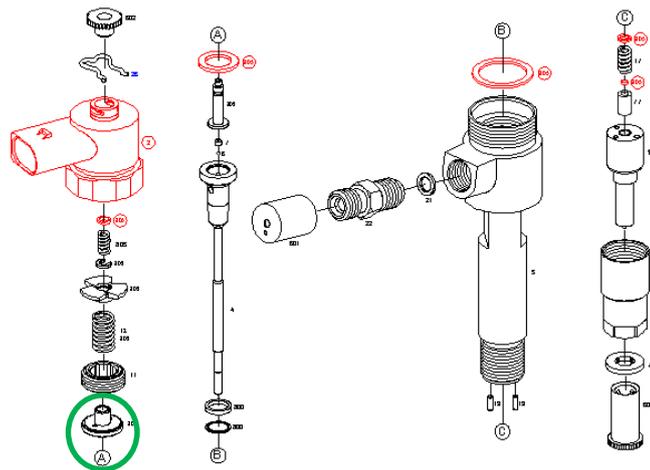
Os modelos de injetores 0445110141, 0445110231 e 0445110273 apesar de terem algumas características construtivas diferentes, seus componentes internos são muitos semelhantes, principalmente as peças que fazem a regulagem e a abertura do retorno do combustível. Esses modelos de injetores são respectivamente representados pelas Figura 46, Figura 47 e Figura 48 onde o componente A, que está destacado pela circunferência verde, é responsável por controlar o retorno do combustível, sendo esta peça igual nos três modelos.

Figura 46 - Injetor Modelo 0445110141



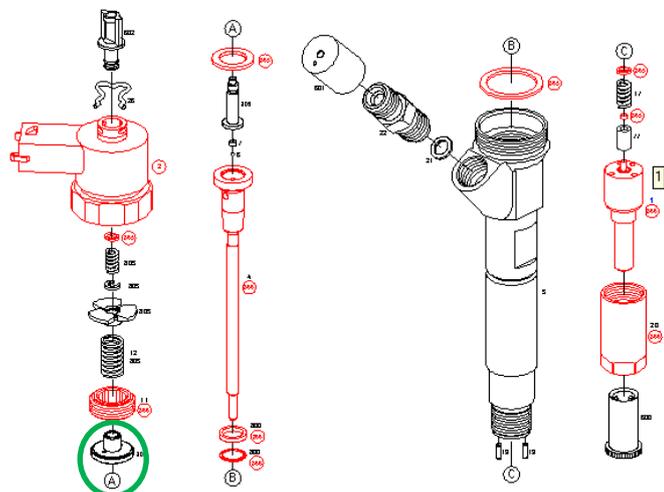
Fonte: Autor.

Figura 47 - Injetor Modelo 0445110231



Fonte: Autor.

Figura 48 - Injetor Modelo 0445110273



Fonte: Autor.

A Figura 49 apresenta o componente dos injetores destacado nas figuras anteriores. Esta peça é diferente no modelo do injetor 0445110520 que teve seu débito de retorno alto representando metade dos injetores com falha.

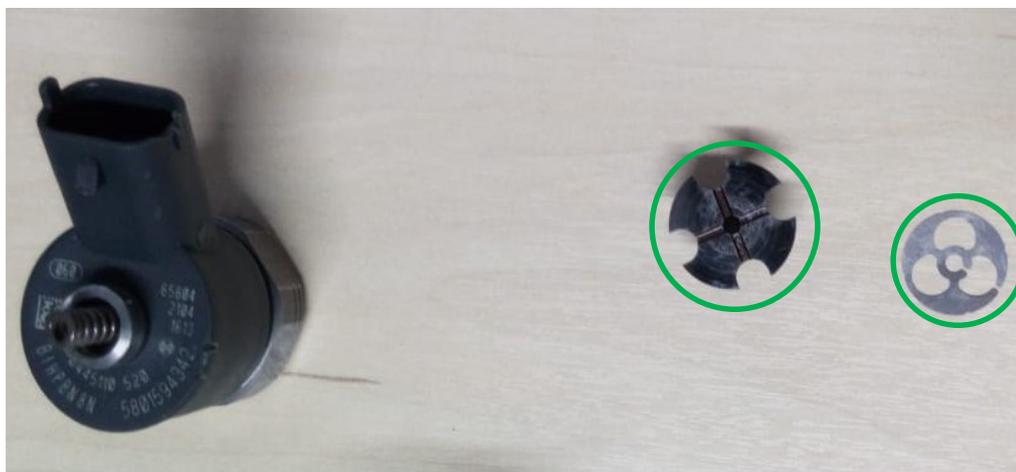
Figura 49 - Componente do Retorno



Fonte: Autor.

Observa-se que a peça responsável pelo retorno do combustível Figura 50 no modelo de injetor 0445110520 é menos robusta em relação ao da Figura 49, o que explica seu modo de falha de alto débito de retorno, pois devido a peça ser mais frágil ela está suscetível a quebra. Quando esse componente falha o retorno do combustível aumenta, assim como foi apontado nas tabelas e gráficos do modelo de injetor 0445110520.

Figura 50 - Componente Retorno Injetor 0445110520



Fonte: Autor.

## 5.2 Análise de Custo

No dia a dia o usuário dos veículos Diesel, muitas vezes por falta de informação ou descuido, acabam não efetuando a manutenção preventiva e logo seu sistema de injeção de combustível pode vir a falhar antes do que o normal. Os sistemas de injeção por possuírem uma tecnologia avançada e precisa, possuem elevado custo principalmente se houver necessidade da troca dos bicos injetores.

Desta forma a melhor forma de prevenir e alertar os clientes é mostrar a análise do custo da manutenção preventiva em relação a manutenção corretiva, como ilustrado nas Tabela 17 e Tabela 18 que são referente ao veículo Ducato 2.3 ano 2013 e ao injetor 0445110520.

Tabela 17 - Custo Manutenção Preventiva

<b>Componente</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Unitário</b>
Filtro de ar do motor	1	R\$ 182,00
Filtro de combustível	1	R\$ 105,00
Filtro de óleo	1	R\$ 89,90
Óleo 5W30	7	R\$ 38,00
<b>Total</b>		R\$ 642,90

Fonte: Adaptado Amplexo.

Tabela 18 - Custo Manutenção Corretiva

<b>Componente</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Unitário</b>
Injetor novo	4	R\$ 1780,00
Retirar/Instalar/Limpar tanque de combustível	1	R\$ 450,00
Filtro de óleo	1	R\$ 105,00
Mão de Obra	1	R\$ 580,00
<b>Total</b>		R\$ 8.255,00

Fonte: Adaptado Amplexo.

Portanto é perceptível a grande diferença entre a manutenção preventiva e corretiva, sendo que a manutenção preventiva por recomendação da empresa Amplexo Diesel deve ser efetuada a cada 6 meses ou 10.000km por meio da troca de óleo e filtros.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho tinha como objetivo geral analisar os modos de falha em sistemas de injeção de combustíveis em motores Diesel, por meio da análise dos dados experimentais e seus respectivos gráficos, o que foi realizado e documentado nas tabelas e gráficos contidos no capítulo 4 e 5. A classificação dos diferentes tipos de injeção de óleo Diesel deu o suporte técnico para o entendimento do funcionamento do bico injetor e seus respectivos modos de falha.

Os dados provenientes dos testes da bancada de teste EPS 708, foram coletados e avaliados utilizando ferramentas estatísticas. Tendo os dados separados em tabelas e sendo representados graficamente com apenas o uso dos parâmetros de débito de injeção e débito de retorno, foi possível identificar os modos de falhas nos bicos injetores. As causas das falhas nos bicos injetores, como foi dissertada na fundamentação teórica, são a falta de manutenção preventiva e o uso de combustível contaminado com água e impurezas.

As falhas variaram de acordo ao tipo de injetor, em alguns casos com elevado débito de injeção, indicando o vazamento ou ruptura do bico injetor, para o baixo débito de injeção a falha estava relacionado ao entupimento dos orifícios de injeção, causando perda de potência ou até falha total de injeção de combustível nos casos onde os valores foram nulos.

Para o elevado débito de retorno a falha associa ao efeito do veículo parar de funcionar após estar aquecido, pois sem retorno de combustível para o acumulador ou *common rail* o sistema perde pressão de injeção fazendo que o sistema falhe. Analisando os modos de falha encontrados nos bicos injetores, foi constatado que mesmo uma pequena variação em dos componentes do injetor, como mostrado para o modelo de injetor 0445110520, seu modo de falha pode ser diferente dos demais injetores. Sendo a manutenção preventiva à medida que elimina ou pelo menos reduz a probabilidade de falha nos bicos injetores.

Como sugestão para futuros trabalhos, há a possibilidade de se analisar pelo menos mais um dos testes utilizados pela bancada EPS 708, como por exemplo o teste de emissões (EM), ou o teste de marcha lenta (LL), e desta forma se estudar a relação entre as falhas e seus testes, podendo observar a propagação da falha pelos diferentes tipos de testes. Apesar de não ter sido aplicado a ferramenta FMEA neste trabalho, para trabalhos futuros ela pode ser uma importante ferramenta para monitorar e promover melhorias ao sistema de injeção de combustível.

## REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, Luiz Augusto Rocha. **Manutenção preditiva de motores Diesel através de parâmetros operacionais**. 1999. 142. Tese Doutorado - Curso de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <[http://www.oceanica.ufrj.br/intranet/teses/1999\\_doutorado\\_luiz\\_augusto\\_rocha\\_baptista.pdf](http://www.oceanica.ufrj.br/intranet/teses/1999_doutorado_luiz_augusto_rocha_baptista.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Blucher, 2012. V.1.
- BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Blucher, 2012. V.2.
- KROGERUS, Tomi; HYVÖNEN, Mika; HUHTALA, Kalevi. **Analysis of common rail pressure signal of dual-fuel large industrial engine for identification of injection duration of pilot Diesel injectors**. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236117315636>>. Acesso em: 20 jul. 2018.
- MARTINS, Vitor Alexandre Carlesse; GARCIA, Ezio Castejon. **Estudo sobre motores Diesel**. São José dos Campos. **Anais...**. São José dos Campos: Encita, 2010. p. 1 - 12. Disponível em: <<http://www.bibl.ita.br/xviencita/iem-4.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2017.
- MAHLE. **Manual técnico**: Curso Mahle metal leve motores de combustão interna. 2016. Disponível em: <<https://www.mahle-aftermarket.com/media/local-media-latin-america/download-center/technical-materials/2016-04-19-manual-curso-de-motores-2016-2.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2018.
- NORTEGUBISIAN. **Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA)**. 2018. Disponível em: <<https://www.nortegubisian.com.br/blog/analise-de-modos-de-falha-e-efeitos-fmea>>. Acesso em: 27 nov. 2018.
- PETROBRAS (Brasil). **Óleo Diesel**. 2018. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/produtos/automotivos/oleo-Diesel/>>. Acesso em: 10 jun. 2018.
- PODORODECZKI, Paulo Ricardo. **Análise de desempenho de motor Diesel com injeção eletrônica Common Rail alimentado com misturas Diesel - biodiesel em dinamômetro de chassis**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/7104>>. Acesso em: 11 abr. 2018.
- RANCHE, Marco. **Mecânica Diesel: caminhões e pick-ups – barcos**. Brasil: Hemus, 2004, 536 p.
- SCANIA. **Mecânica Básica**. 2009. Disponível em: <[http://www.scaniasdc.com.br/arquivos/biblioteca/5\\_mecanica%20basica.pdf](http://www.scaniasdc.com.br/arquivos/biblioteca/5_mecanica%20basica.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2018.

SILVA, Mário Lucas Santana et al. **A importância da manutenção em Motores Diesel**. Perspectivas online: exatas e engenharias, Campos dos Goytacazes, v. 3, n. 7, p.54-61, abr. 2013. Disponível em: <[http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/exatas\\_e\\_engenharia/article/view/50/103](http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/exatas_e_engenharia/article/view/50/103)>. Acesso em: 20 nov. 2017.

TILLMANN, Carlos Antonio da Costa. **Motores de Combustão Interna e seus Sistemas**.2013. Disponível em: <[http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico\\_biocombustivel/motores\\_combustao\\_interna\\_e\\_seus\\_sistemas.pdf](http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico_biocombustivel/motores_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf)>. Acesso em: 20 maio 18.

RODRIGUES, M. **FMEA –Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos**. Disponível em <http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/professores/marcelor/Cap.fmea.pdf>. Acesso: 27 nov. 2017.

VARELLA, Carlos Alberto Alves; SANTOS, Gilmar de Souza. **Noções básicas de motores Diesel**. 2010. Disponível em: <[http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154\\_motores\\_e\\_tratores/Literatura/No%E7%F5es%20B%E1sicas%20de%20Motores%20Diesel.pdf](http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/No%E7%F5es%20B%E1sicas%20de%20Motores%20Diesel.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2018.

WYREBSKI, Jerzy. **Manutenção produtiva total – um modelo adaptado** – SC. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – UFSC. Florianópolis, 1997. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta98/jerzy/> > Acesso: 1 nov. 2017.

## ANEXO A – LAUDO TÉCNICO PÁGINA 1

 <b>BOSCH</b>		<b>EPS945</b> CD-TestData	V 4.35.1.3 2017/B 1.4.2.0	13.07.2018 17:27:30 Teste de entrada		
Cliente	MENDES E MENDES LTDA		Local do teste AMPLEXO DIESEL LTDA			
			RUA VIRGILINO F. DE SOUZA, 96			
Número do cliente	3504					
Número do pedido	13856					
Telefone			48 3246-3246			
Fax						
Nota			Revisor	EDUARDO 03		
N.º tipo peça	Fórm. tipo	Data de alteraç.	Compensação			
0445110141 --	CRI 1	18.10.2006				
Fabricante	Componente	Tipo	Pos. regul.	Temperatura		
Bosch	CRI	1 MV		40 °C		
<b>Reclamação</b>						
Diagnóstico	INJETORES COM PLENA CARGA, EMISSOES E MARCHA LENTA FORA DO PADRAO					
Nota						
	Injector A	Injector B	Injector C	Injector D	Injector E	Injector F
N.º de série	3112	0063	0064	0006		
Data produção						
ID Reparo	OK	OK	OK	OK		
Res. reparo	X	X	X	X		
Teste estanq.						
# 1	Start up		 Medição quant.			
						
# 2	Clean run		 Medição quant.			
	Clean run Injector					
# 3	Leak test		 Teste estanq.			
	Leak test Injector					
# 5	Warm up		 Medição quant.  °C			
	Warm up Testbench		= 40			
# 6	Stabilizing		 Medição quant.			
	Stabilizing Injector					
EPS708		Página 1				

## ANEXO B – LAUDO TÉCNICO PÁGINA 2

 <b>BOSCH</b>		EPS945 CD-TestData	V 4.35.1.3 2017/B 1.4.2.0	13.07.2018 17:27:30 Teste de entrada		
N.º tipo peça <b>0445110141</b>	--	Fórm. tipo <b>CRI 1</b>	Data de alteraç. 18.10.2006	Compensação 		
Fabricante <b>Bosch</b>	Componente <b>CRI</b>	Tipo <b>1 MV</b>	Pos. regul. 	Temperatura <b>40 °C</b>		
N.º de série	Injector A 3112	Injector B 0063	Injector C 0064	Injector D 0008	Injector E	Injector F
Data produção						
# 7	Conditioning					 Medição quant.
	Conditioning for VL point					
# 8	VL					 Medição quant.
	Measure point VL					
n /min	 °C	p MPa	t μs	p kPa	p kPa	s
→← 1000	→← 40.0	→← 135.0	→← 800	→← 10.0	→← 20	→← ---
 250	↓↑ 1.0	↓↑ 1.0	n/min ---	↓↑ 5.0	↓↑ 10	→← ---
= 1000	= 40.1	= 135.0		= 9.9	= 20.0	= 117
$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	
→← 68.2	→← 68.2	→← 68.2	→← 68.2	→← 68.2	→← 68.2	
↓↑ 4.0	↓↑ 4.0	↓↑ 4.0	↓↑ 4.0	↓↑ 4.0	↓↑ 4.0	
/A= 58.6	/B= 49.4	/C= 54.7	/D= 53.7			
$\bar{Q}_{\text{inj}}$ / mm³/H	$\bar{Q}_{\text{inj}}$ / mm³/H	$\bar{Q}_{\text{inj}}$ / mm³/H	$\bar{Q}_{\text{inj}}$ / mm³/H	$\bar{Q}_{\text{inj}}$ / mm³/H	$\bar{Q}_{\text{inj}}$ / mm³/H	
→← 39.0	→← 39.0	→← 39.0	→← 39.0	→← 39.0	→← 39.0	
↓↑ 21.0	↓↑ 21.0	↓↑ 21.0	↓↑ 21.0	↓↑ 21.0	↓↑ 21.0	
/A= 26.1	/B= 29.3	/C= 36.7	/D= 29.2			
# 9	Conditioning					 Medição quant.
	Conditioning for EM point					
# 10	EM					 Medição quant.
	Measure point EM					
n /min	 °C	p MPa	t μs	p kPa	p kPa	s
→← 1000	→← 40.0	→← 80.00	→← 500	→← 10.0	→← 20	→← ---
 250	↓↑ 1.0	↓↑ 1.0	n/min ---	↓↑ 5.0	↓↑ 10	→← ---
= 999	= 40.2	= 80.0		= 10.0	= 20.0	= 57
$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	
→← 15.6	→← 15.6	→← 15.6	→← 15.6	→← 15.6	→← 15.6	
↓↑ 2.5	↓↑ 2.5	↓↑ 2.5	↓↑ 2.5	↓↑ 2.5	↓↑ 2.5	
/A= 10.9	/B= 9.7	/C= 9.7	/D= 10.1			
# 11	Conditioning					 Medição quant.
	Conditioning for LL point					

## ANEXO C – LAUDO TÉCNICO PÁGINA 3

	<b>BOSCH</b>	<b>EPS945</b> CD-TestData	V 4.35.1.3 2017/B 1.4.2.0	13.07.2018 17:27:30 Teste de entrada		
N.º tipo peça <b>0445110141</b>	--	Fórm. tipo <b>CRI 1</b>	Data de alteraç. 18.10.2006	Compensação 		
Fabricante <b>Bosch</b>	Componente <b>CRI</b>	Tipo <b>1 MV</b>	Pos. regul. 	Temperatura <b>40 °C</b>		
N.º de série	Injector A 3112	Injector B 0063	Injector C 0064	Injector D 0006	Injector E	Injector F
Data produção						
# 12	LL	 Medição quant.				
 Measure point LL						
n /min	 °C	p  MPa	t  µs	p  kPa	p  kPa	 s
→ ← 1000	→ ← 40.0	→ ← 30.00	→ ← 575	 10.0	 20	 ----
 250	↓ ↑ 1.0	↓ ↑ 1.0	$\frac{n}{min}$ ----	↓ ↑ 5.0	↓ ↑ 10	 ----
= 998	= 40.1	= 30.0		= 10.0	= 20.0	= 57
$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	$\bar{Q}$ / mm³/H	
→ ← 5.0	→ ← 5.0	→ ← 5.0	→ ← 5.0	→ ← 5.0	→ ← 5.0	
↓ ↑ 2.0	↓ ↑ 2.0	↓ ↑ 2.0	↓ ↑ 2.0	↓ ↑ 2.0	↓ ↑ 2.0	
/A= 2.5	/B= 2.4	/C= 2.8	/D= 2.6			
# 13	Conditioning	 Medição quant.				
	Conditioning for VE point					
# 14	VE	 Medição quant.				
	Measure point VE					
EPS708						
Página 3						

## ANEXO D – LAUDO TÉCNICO PÁGINA 4

