



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESTÁGIO PROFISSIONAL

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA E OPTIMIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO DOS
INJECTORES DAS LOCOMOTIVAS GE C30 ACI NO LABORATÓRIO DE
INJECCÃO DA EMPRESA CAMINHOS DE FERRO DE MOÇAMBIQUE (CFM)-SUL**

Autor: Próspero Tuwapo Liphola

Supervisor da Faculdade: Eng.º Roberto David

Supervisor da empresa: Eng.º Hassane da Silva

Maputo, Agosto de 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESTÁGIO PROFISSIONAL

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA E OPTIMIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO DOS
INJECTORES DAS LOCOMOTIVAS GE C30 ACI NO LABORATÓRIO DE
INJECCÃO DA EMPRESA CAMINHOS DE FERRO DE MOÇAMBIQUE (CFM)-SUL**

Autor: Próspero Tuwapo Liphola

Supervisor da Faculdade

Eng.º Roberto David

Supervisor da empresa

Eng.º Hassane da Silva



**Análise de Eficiência e Optimização na Manutenção dos Injectores das Locomotivas GE C30 ACI no
Laboratório de Injecção da Empresa CFM-SUL**

Próspero Tuwano Liphola



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante: Próspero

Entregou no dia ___/___/20__ as ___ cópias do relatório do seu relatório do estágio profissional com a referência: _____

Intitulado: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA E OPTIMIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO DOS INJECTORES DAS LOCOMOTIVAS GE C30 ACI NO LABORATÓRIO DE INJECCÃO DA EMPRESA CAMINHOS DE FERRO DE MOÇAMBIQUE (CFM)-SUL

Maputo, ____ de _____ de 20__

O Chefe de Secretaria

DEDICATÓRIA

Com profunda gratidão e amor, dedico esta tese aos meus pais Prof. Doutor Marcelino Liphola e Eng. Anselmina Luís Liphola (MSc). O vosso apoio, incentivo e amor incondicional são a base a partir da qual construí os meus sonhos. Vocês são a minha inspiração e bússola, e pelos vossos sacrifícios e crença serei eternamente grato e em dívida de deixá-los extremamente orgulhosos.

AGRADECIMENTOS

Expresso os meus sinceros agradecimentos às pessoas que directa e indirectamente foram fundamentais na minha jornada académica e pessoal.

Em primeiro lugar agradecer aos meus pais Prof. Doutor Marcelino Liphola e Eng. Anselmina Luís Liphola (MSc) e às minhas irmãs Sawa Liphola e Josefina Ntumbati, pelo incansável apoio, amor, confiança e crença durante toda a jornada académica e além.

Ao meu supervisor Eng^o Roberto David pela disponibilidade, dedicação e apoio incondicional dispensado durante a realização deste trabalho e durante o percurso académico. Ao Eng^o Hassane da Silva pelo seu papel de mentor e pela calma estranha, mas didaticamente orientadora durante o acompanhamento do estágio.

Aos docentes do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, pela entrega, dedicação e partilha de conhecimento imprescindível na elaboração deste projecto.

Aos meus companheiros e amigos de caminhada conjunta, iniciada para uma vida, que inclui Hélio José, Daniela Mandlate, Igor Chissico e Izildo Chinhete, com quem pude partilhar momentos de alegria, de tristeza, momentos altos e baixos ao longo desta jornada.

Aos irmãos e irmãs que a vida teve o prazer de abençoar-me: Shelton, Júpiter, Stefano, Nuno, Marvin, Ivanise, Ionara, Allan, José, e Amara, que infelizmente não está entre nós, pela tolerância, paciência, entendimento, pelos empurrões e pela amizade incondicional que sempre proporcionaram nos melhores e piores momentos.

Por fim, mas igualmente importante, desejo expressar minha gratidão a mim mesmo pela constante persistência, compromisso incansável e insistência diante de inúmeros obstáculos. Nunca desisti e mantive a crença firme de que alcançaria meus objectivos.

“Closing this book, but the pursuit of wisdom is endless. Keep pushing boundaries.”

DECLARAÇÃO DE HONRA

Com todo o meu compromisso e responsabilidade, eu, Próspero Tuwapo Liphola, atesto a autenticidade exclusiva deste Relatório de Estágio, reiterando que não se trata de qualquer forma de cópia de trabalhos anteriores. As fontes consultadas e utilizadas para a elaboração deste documento são devidamente referenciadas na secção de revisão bibliográfica.

Assinatura: _____

RESUMO

A empresa CFM-Sul depende fortemente da eficiência das locomotivas GE C30 ACI para o transporte de carga, porém enfrenta um desafio significativo devido às falhas frequentes nos injectores antes e após a manutenção. Essas falhas têm um impacto directo na operacionalidade da empresa, elevando os custos de manutenção e prejudicando a disponibilidade das locomotivas. Para abordar essa questão, foi conduzido o presente estudo que incorpora uma metodologia cientificamente rigorosa, incluindo pesquisa bibliográfica, consulta a manuais técnicos e colecta de dados de campo.

A análise de dados colectados sobre as falhas dos injectores reparados no laboratório de injeção da empresa CFM- Sul revelou que de uma amostra de quatro lotes de injectores, o correspondente aproximadamente a 69% foram aprovados, enquanto 23% falharam devido a problemas de gotejamento e 8% devido a baixa pressão de injeção. As soluções propostas no presente estudo visam melhorar a eficiência dos equipamentos envolvidos na manutenção e propor procedimentos de manutenção de equipamentos que incluem a bancada de limpeza dos injectores, aquisição de uma máquina GR-800 rectificadora de agulhas e sedes dos bicos injectores e aquisição de uma bancada de teste dos injectores VPUD1100 SV. A implementação dessas melhorias conduz a redução das falhas dos injectores, permite a optimização do tempo de reparo, minimizando o esforço físico e mental dos técnicos e contribui na redução dos custos operacionais. O estudo sugere que a implementação dessas melhorias não só permite mitigar as falhas nos injectores, mas também aumentar significativamente a eficiência operacional da empresa CFM-Sul.

Palavras-chave: locomotivas GE C30 ACI; falhas nos injectores; eficiência operacional.

ABSTRACT

The CFM-Sul company heavily relies on the efficiency of GE C30 ACI locomotives for cargo transport, yet faces a significant challenge due to frequent injector failures during maintenance. These failures have direct impact on the company operations due to increasing maintenance costs and reducing locomotive availability. To address this issue, the current study was conducted, involving a rigorous scientific methodology, which includes literature review, consultation of technical manuals, and field data collection.

The data analysis of the study shows that failures of repaired injectors at CFM-Sul (injection) laboratory reveals that from a sample of four batches, corresponding approximately to 69% have passed the inspection, while 23% failed due to dripping issues and 8% due to low injection pressure. The solutions presented in the current work aim to enhance equipment maintenance and propose maintenance procedures, which include upgrading injector cleaning benches by acquiring a GR-800 needle and nozzle seat grinder machine, as well as procuring a VPUD1100 SV injector test bench. It is assumed that these suggested improvements will reduce injector failures, optimize repair time, minimize physical and mental strain on technicians, and reduce operational costs. By implementing these proposed innovative measures is expected to not only mitigate injector failures but also to significantly increase the CFM-Sul operational efficiency.

Keywords: GE C30 ACI locomotives; injector failures; operational efficiency.

ÍNDICE

Dedicatória.....	i
Agradecimentos	ii
Declaração de honra	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Lista de figuras	viii
Lista de tabelas	ix
Lista de símbolos e acrónimos.....	x
CAPÍTULO I	1
1. Introdução.....	1
1.1. Objectivos.....	2
1.1.1. Objectivo geral	2
1.1.2. Objectivos específicos.....	2
1.2. Metodologia.....	2
1.3. Estrutura do trabalho	3
CAPÍTULO II: REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Definição, Classificação e História das locomotivas.....	5
2.1.1. Definição e Classificação.....	5
2.1.2. Breve Historial Das Locomotivas.....	5
2.1.3. Locomotivas diesel-elétricas.....	6
2.2. Componentes da locomotiva diesel-Elétrica	7
2.3. Funcionamento das locomotivas GE C30 ACI.....	8
2.4. Funcionamento do motor diesel GE C30 ACI.....	9
2.4.1. Sistema de injeção das locomotivas GE C30 aci.....	12
2.4.2. Composição e funcionamento do injector Diesel das GE C30 aci.....	13
CAPÍTULO III: CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO	15
3.1. Apresentação da empresa	15
3.1.1. Breve historial da empresa	15
3.1.2. Estrutura orgânica da empresa	15
3.1.3. Oficinas Gerais dos CFM-SUL.....	16
3.1.4. Actividades realizadas durante o período de estágio	16

3.2. Manutenção dos injectores no laboratório de injeção	18
3.2.1. Desmontagem e lavagem dos componentes dos injectores.....	18
3.2.2. Rectificação da agulha da sede do bico injector	18
3.2.3. Limpeza final e montagem do injector.....	19
3.2.4. Teste de pressão e pulverização	20
3.2.5. Falhas dos injectores	20
3.2.6. Inconvenientes do actual método e ferramentas de manutenção dos injectores	21
CAPÍTULO IV: METODOLOGIA E RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	22
4.1. Análise da taxa de falhas	22
CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	24
5.1. Apresentação dos dados referentes à análise da taxa de falhas na manutenção dos injectores:.....	24
5.2. Soluções propostas.....	25
5.2.1. Melhoria dos procedimentos de manutenção.....	25
5.2.2. Melhoramento da bancada de lavagem dos injectores.....	26
5.2.3. Aquisição de uma máquina rectificadora das agulhas e sedes dos bicos injectores	26
5.2.4. Aquisição de bancada de teste dos injectores	28
5.3. Análise de custos	31
CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	32
6.1. Conclusões	32
6.2. Recomendações para trabalhos futuros	33
Referências bibliográficas	34
ANEXOS	1
ANEXO 1 – BANCADA DE TESTE DE INJECTOR VPUD1100 SV	1
ANEXO 2 - RETIFICADORA DE BICO E SEDE DE INJECTOR GR-8000	2
ANEXO 3 – MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DA BANCADA DE LIMPEZA	3
ANEXO 4 – DESENHO BANCADA DE LIMPEZA MELHORADA.....	4

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Locomotiva Diesel-Elétrica em Corte.....	7
Figura 2: Esquema de Motor Diesel 7FDL12	9
Figura 3: Motor Diesel 7FDL.....	10
Figura 4: Funcionamento do Motor Diesel 4 tempos.....	10
Figura 5: a) Bomba Injectora Com Selenóide Da Locomotiva GE C30 ACI; b) Injector Da Locomotiva GE C30 ACI.....	11
Figura 6: Sistema De Injecção Electrónica Unitária	12
Figura 7: Composição Básica Do Injector Das GE C30 ACI	13
Figura 8: Estrutura Orgânica Da Empresa.	15
Figura 9: Bancada De Lavagem Dos Injectores.....	18
Figura 10: Máquina Rectificadora De Agulhas E Sedes Dos Bicos	19
Figura 11: Limpeza Do Bico Injector	19
Figura 12: Limpeza Final Dos Bicos Injectores	19
Figura 13: Testagem Dos Injectores.....	20
Figura 14: Gráfico Da Análise De Falhas Na Manutenção Dos Injectores	24
Figura 15: Fluxograma Da Melhoria Dos Procedimentos De Manutenção Dos Injectores	25
Figura 16: Bancada de limpeza dos injectores melhorada	26
Figura 17: GR-800 Rectificadora de agulhas e sedes de bicos injectores.....	27
Figura 18: VPUD1100 SV Bancada De Teste Dos Injectores	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Actividades desenvolvidas durante o período de estágio.....	17
Tabela 2: Falhas registadas em alguns lotes de injectores no laboratório de injeção.....	23
Tabela 3: Análise dos custos	31

LISTA DE SÍMBOLOS E ACRÓNIMOS

<i>CFM</i>	Caminhos de Ferro de Moçambique
<i>DMM</i>	Departamento de Material Motor
<i>UPS</i>	<i>Unit Pump System</i>
<i>GE</i>	<i>General Electric</i>
<i>ECU</i>	<i>Electronic Control Unit</i>
<i>PMS</i>	Ponto Morto Superior
<i>PMI</i>	Ponto Morto Inferior
<i>GOT</i>	Gabinete de Organização de Trabalho

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A indústria ferroviária desempenha um papel crucial em Moçambique no panorama global de transporte, proporcionando um meio confiável e eficiente para movimentar carga e passageiros em grande escala. Nesse contexto, a manutenção eficiente das locomotivas é fundamental para assegurar operações seguras, confiáveis e economicamente viáveis. No entanto, os desafios inerentes à manutenção de componentes críticos, como os injectores das locomotivas GE C30 ACI, podem representar obstáculos significativos para as empresas ferroviárias.

Este estudo concentra-se na análise da eficiência e optimização da manutenção dos injectores das locomotivas, examinando especialmente o caso do laboratório de injeção da empresa CFM-Sul. Durante o estágio realizado na empresa CFM-Sul, observou-se foram observadas falhas recorrentes nos injectores das locomotivas GE C30 ACI, incluindo situações de baixa pressão de injeção, gotejamento e outras falhas operacionais após os procedimentos de manutenção e reparação. Além disso, a observação factual permitiu identificar que o processo de manutenção dos injectores no laboratório de injeção da empresa CFM-Sul é marcado pela sua lentidão e pela demanda significativa de recursos, o que pode impactar negativamente na disponibilidade das locomotivas para operação.

A análise detalhada das falhas frequentes nos injectores das locomotivas GE C30 ACI, investigando as possíveis causas subjacentes e avaliando os procedimentos de manutenção actualmente adoptados no laboratório de injeção da empresa CFM-Sul é de extrema relevância pois permite adoptar estratégias e opção por soluções eficientes para optimizar o processo de manutenção, com o objectivo de reduzir falhas e aumentar a eficiência operacional promovendo operações mais seguras, confiáveis e rentáveis para a CFM-Sul.

1.1. OBJECTIVOS

1.1.1. Objectivo Geral

- ✓ Analisar as operações de manutenção dos injectores das locomotivas GE C30 ACI no laboratório de injeção da empresa CFM-Sul.

1.1.2. Objectivos Específicos

- ✓ Avaliar método de manutenção dos injectores actualmente empregue na empresa CFM-Sul;
- ✓ Caracterizar as principais causas de falhas nos injectores antes e após a manutenção;
- ✓ Propor soluções para melhorar a operação de manutenção dos injectores.

1.2. Metodologia

Neste trabalho, emprega-se uma abordagem metodológica que integrou diversas etapas fundamentais para o desenvolvimento de uma pesquisa mais abrangente. Para tal, foram adoptados métodos desde a pesquisa bibliográfica, consulta de manuais e de técnicos da empresa bem como a colecta de dados na própria CFM-Sul para posterior análise. Em seguida, apresentam-se, de forma detalhada as técnicas metodológicas adoptadas para alcançar os objectivos propostos neste estudo.

i. Pesquisa bibliográfica.

Pesquisa bibliográfica consiste na busca e análise crítica de informação documentada e publicada sobre o tema de pesquisa, cuja finalidade é actualização e desenvolvimento do conhecimento contribuindo para a realização da investigação (Bocatto, 2006: <https://revistas.fucamp.edu.br>). Na realização do presente trabalho foram consultados vários artigos publicados na internet, trabalhos finais para a obtenção do grau de licenciatura e manuais de diversos autores com vista a confrontar a informação disponível e apreender os conceitos e apresentar a fundamentação teórica para melhor entender a forma de funcionamento dos injectores de óleo e de diesel nas locomotivas, bem como perceber a influência das falhas deste componente no motor diesel. Também se recorreu à pesquisa bibliográfica para melhor perceber alguns conceitos e absorver conhecimentos de ferramentas envolvidas na operação de manutenção dos injectores e apreender os conceitos sobre a manutenção no geral.

ii. Consulta de manuais, catálogos e a técnicos

A consulta feita em catálogos, manuais e a técnicos da empresa permitiu a extracção de dados a partir de fontes primárias tais como, parâmetros geométricos (desenhos) dos injectores, e outros dados técnicos relevantes sobre os injectores, equipamentos e ferramentas envolvidas nas operações de manutenção dos injectores.

iii. Colecta de dados

A outra técnica metodológica empregue na presente pesquisa foi a colecta de dados na empresa CFM-SUL. Os dados colectados referentes à falhas frequentes dos injectores das locomotivas durante a manutenção no laboratório do posto diesel, incluem fotografias dos equipamentos e ferramentas usadas durante a manutenção dos injectores.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos nos quais são tratados temas nos moldes abaixo descritos.

O capítulo I é meramente introdutório e apresenta as principais motivações e objetivos deste relatório, além de relatar a metodologia e a sequência usada para o desenvolvimento do mesmo.

O capítulo II apresenta a revisão bibliográfica. Ainda neste capítulo faz-se a fundamentação teórica abordando conceitos relacionados ao tema de pesquisa, com o enfoque para o funcionamento do sistema de injeção diesel nas locomotivas GE. É feita a descrição do funcionamento do injektor de óleo diesel das locomotivas GE C30 ACI, bem como abordadas as teorias sobre manutenção e outros aspectos crucialmente relevantes para a pesquisa.

No Capítulo III é a apresentada a contextualização e apresentação da empresa na qual é feita a investigação e são descritas as actividades realizadas pelo autor durante o período de estágio. Neste capítulo também se faz a análise detalhada da metodologia empregue para a manutenção dos injectores no laboratório de injeção da empresa CFM-Sul e são descritas as tipologias de falhas dos injectores observadas a quando da sua reparação.

O capítulo IV é reservado à metodologia de investigação e análise da taxa de falhas que ocorrem nos injectores das locomotivas GE C30 ACI no laboratório de injeção da empresa CFM-Sul.

O capítulo V apresenta a discussão dos resultados obtidos durante a investigação das falhas dos injectores, as soluções para mitigar as falhas dos injectores e estratégias tendentes a reduzir o

tempo nas operações de manutenção. Inclui uma breve análise de custos que, por não ser o objectivo da presente pesquisa, tem a abordagem menos profunda.

A análise de custos é feita olhando para as necessidades em material necessário e o custo de aquisição do mesmo para aumentar a eficiência e reduzir o tempo nas operações de manutenção dos injectores.

O último capítulo apresenta as principais conclusões que dizem respeito aos objetivos definidos previamente sobre a investigação feita da taxa de falhas dos injectores no actual modelo de manutenção, bem como sugestões e recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II: REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Definição, classificação e história das locomotivas

2.1.1. Definição e Classificação

As locomotivas são materiais circulantes responsáveis pela tração dos demais veículos, tais como vagões e carruagens, ou seja, é um veículo ferroviário que oferece a energia necessária para a colocação de vagões, furgões ou carruagens em movimento.

Considera-se material circulante ferroviário —todo o veículo provido de rodas que se movimenta sobre os carris (Silva, 2012: 14). Este material possibilita o transporte que pode ser dividido em três grupos: Material Motor, Material Rebocado e Automotoras (CFM 2016).

Entende-se por material motor os veículos que se deslocam com seus próprios meios, ou seja, veículos que não necessitam de um reboque para que possam mover-se, tais como: locomotivas, automotoras e zorras. Por sua vez, o material rebocado corresponde aos veículos que necessitam de outros meios para se deslocarem, tais como: salões, carruagens, furgões, vagões entre outros (CFM 2016).

As locomotivas são comumente classificadas de acordo com os seus meios de propulsão, sendo as principais:

- À vapor;
- Diesel-elétricas;
- Diesel-mecânicas;
- Diesel-hidráulicas;
- Elétricas;
- Gás Turbina-Elétrica ou GTEL (Gas Turbine-Electric Locomotive);
- Levitação Magnética (Maglev)

2.1.2. Breve historial das locomotivas

As primeiras ideias para a utilização do vapor para movimentação de veículos datam do século XVII, sendo construído por Richard Trevithick no País de Gales somente em 1804 um carro a vapor sobre trilhos. Em 1814 o inglês Geoge Stephenson apresentou a locomotiva “Blucher”, e em 1825 fundou com outros sócios a firma Robert Stephenson & Co., a primeira fábrica de locomotivas do mundo.

Desta fábrica saíram a locomotiva “Locomotion” para a Stockton & Darlington Railway, a primeira ferrovia pública do mundo, e a famosa “Rocket”, vencedora do concurso de Rainhill para a Liverpool & Manchester Railway em 1829, que pelas suas características se firmaria como o ponto de partida das futuras locomotivas à vapor.

As locomotivas à vapor utilizam o vapor sob pressão para acionar os êmbolos que transmitem o movimento por puxavantes e braçagens às rodas. A energia para produção do vapor na caldeira vem da fornalha localizada mais atrás, queimando combustível – carvão, lenha ou óleo – que fica armazenado no tender, junto com a água para reabastecimento constante da caldeira.

A caldeira é basicamente um tanque de aço resistente a altas pressões cheio de água e com tubos interligando a fornalha à caixa de fumaça na parte da frente, por onde passa a chama para o aquecimento e produção do vapor.

Na parte superior possuía um conjunto de válvulas que colhe o vapor e o distribui para os cilindros onde vai acionar os êmbolos, escapando depois por um tubo Venturi dentro da caixa de fumaça, e para a chaminé, com isto aumentando a tiragem para manter intensa a chama na fornalha. Sendo a locomotiva equipada com superaquecedor, o vapor, ao sair da caldeira, passa por uma serpentina de tubos em contato com a chama para aumentar sua temperatura e pressão, melhorando o rendimento.

2.1.3. Locomotivas diesel-elétricas

Uma locomotiva diesel-elétrica caracteriza-se pela sua forma de funcionamento, transformando a energia química em mecânica e posteriormente mecânica em elétrica (BETTAZZI, 2013).

De uma maneira geral, em operações ferroviárias de plena via necessita-se de, pelo menos, um veículo motor para cada setenta veículos rebocados, sendo que qualquer avaria em uma locomotiva implica na paralisação do sistema.

Nas locomotivas diesel-elétricas o motor diesel aciona um gerador que produz a energia elétrica destinada aos motores de tração acoplados às rodas motrizes por engrenagens. Especialmente a partir da década de 1970 passou-se a utilizar o alternador, produzindo corrente alternada a ser retificada e enviada aos motores de tração de corrente contínua.

Embora inventados desde o final do século XIX, respectivamente por Nikolaus A. Otto e Rudolph Diesel os motores à gasolina e diesel de início não tiveram aplicação comercial na tração ferroviária, devido principalmente ao tamanho e peso excessivos e também pela dificuldade de transmissão do movimento e do torque às rodas.

Somente em 1925 foi apresentada pela General Electric associada à Ingersoll-Rand uma locomotiva diesel-elétrica de manobras, fabricada para a Central of New Jersey Railroad. A partir daí a tração diesel-elétrica se tornou um sucesso, especialmente nas ferrovias de transporte pesado de cargas dos EUA, praticamente eliminando o vapor a partir da década de 1950.

2.2. Componentes da locomotiva diesel-elétrica

A figura 1 mostra uma locomotiva diesel-elétrica em corte e a lista dos componentes de uma locomotiva diesel-elétrica:

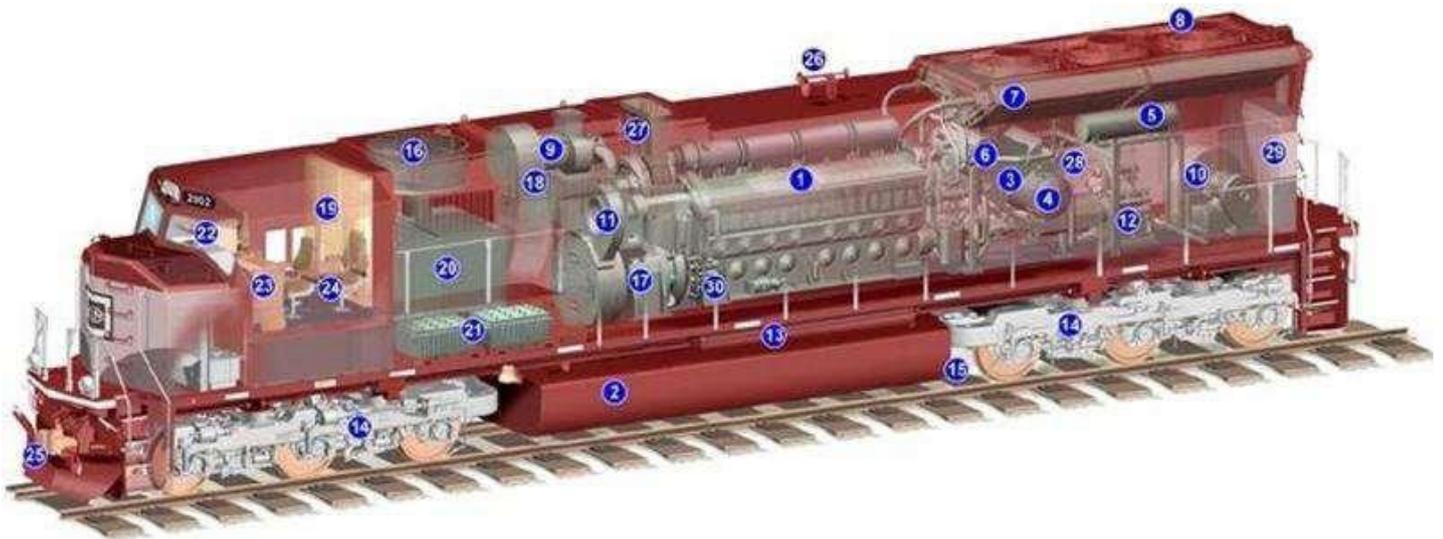


Figura 1: Locomotiva diesel-elétrica em corte

Fonte: (Borba 2012)

Legenda:

1. Motor diesel
2. Tanque de combustível
3. Resfriador de óleo lubrificante
4. Filtro de óleo lubrificante
5. Reservatório auxiliar de água
6. Reservatório de água de resfriamento
7. Radiadores
8. Ventiladores do sistema de resfriamento
9. Soprador do truque 1
10. Soprador do truque 2

11. Soprador do gerador
12. Compressor de ar
13. Reservatório de ar
14. Bogie
15. Motor de tracção
16. Freio dinâmico
17. Gerador de tracção
18. Filtro de inércia
19. Armário elétrico 1
20. Armário elétrico 2
21. Baterias
22. Consola do maquinista
23. Consola do auxiliar
24. Poltronas
25. Engates
26. Buzina
27. Escape do motor diesel
28. Filtro primário de combustível
29. Reservatório de areia
30. Motores de partida.

2.3. Funcionamento das locomotivas GE C30 ACI

Para melhor compreender a manutenção feita aos injectores das locomotivas, é relevante ter o conhecimento prévio do funcionamento do sistema de injeção do óleo diesel nas locomotivas Diesel-Eléctrica, como as GE C30 ACI, que são uma das principais locomotivas em operação na empresa CFM-SUL. Essas locomotivas são fabricadas pela *General Electric*, e são equipadas com um motor de combustão interna diesel de quatro tempos (modelo 7FDL12), responsável por accionar um gerador de corrente alternada/alternador.

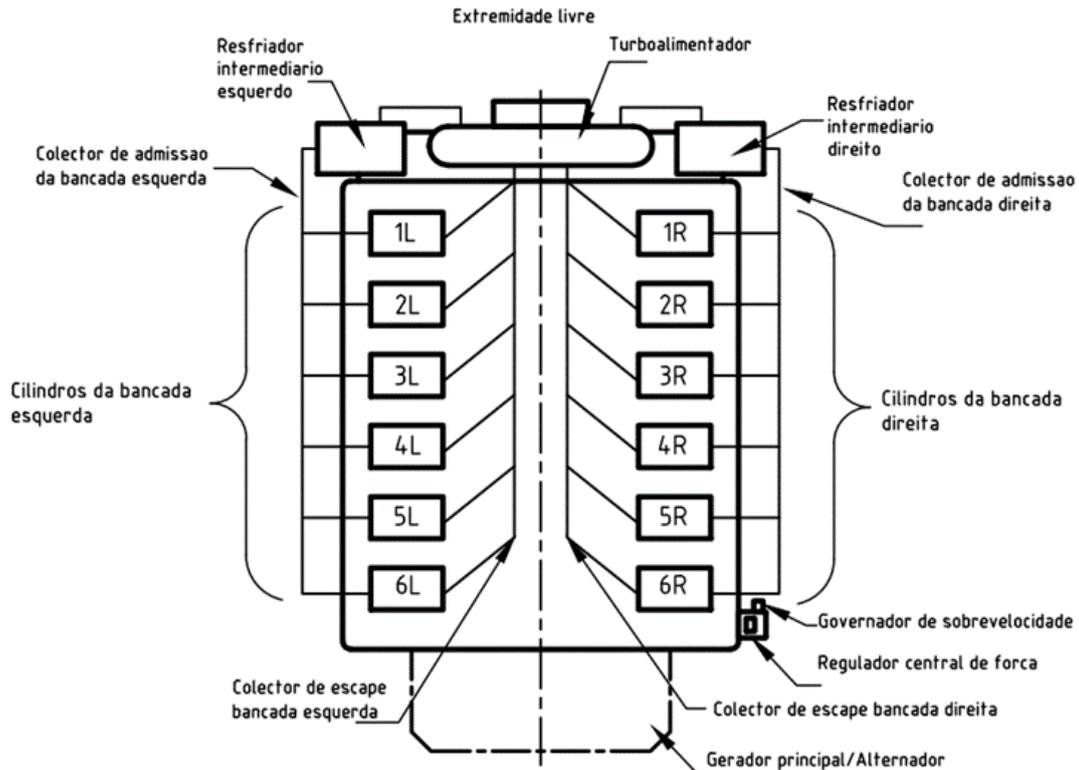


Figura 2: Esquema de Motor Diesel 7FDL12

(Fonte: o autor.)

A electricidade gerada por estes geradores é utilizada para alimentar os motores de tracção, que são motores eléctricos responsáveis por girar o veio dos rodados e proporcionar a tracção necessária. Nas locomotivas GE C30 ACI, a tracção é obtida por meio da engrenagem entre o pinhão do motor de tracção e a roda dentada do veio dos rodados.

2.4. Funcionamento do motor diesel GE C30 ACI

Inicialmente, dois geradores auxiliares, alimentados electricamente pelas baterias, funcionam como motores de partida, girando a cambota e impulsionando o motor Diesel. Após o arranque do motor Diesel, os geradores auxiliares são reconectados como geradores.



Figura 3: Motor Diesel 7FDL

(Fonte: o autor.)

Antes do arranque do próprio motor diesel 7FDL, a rotação da cambota é transmitida por meio de engrenagens de distribuição que accionam os excêntricos do comando de válvulas e da bomba injectora. Os excêntricos, por sua vez, através de tuchos e hastes, movimentam a bomba injectora e os balancins das válvulas em sincronia com o movimento alternado dos pistões para cada um dos tempos do motor Diesel em cada cilindro:

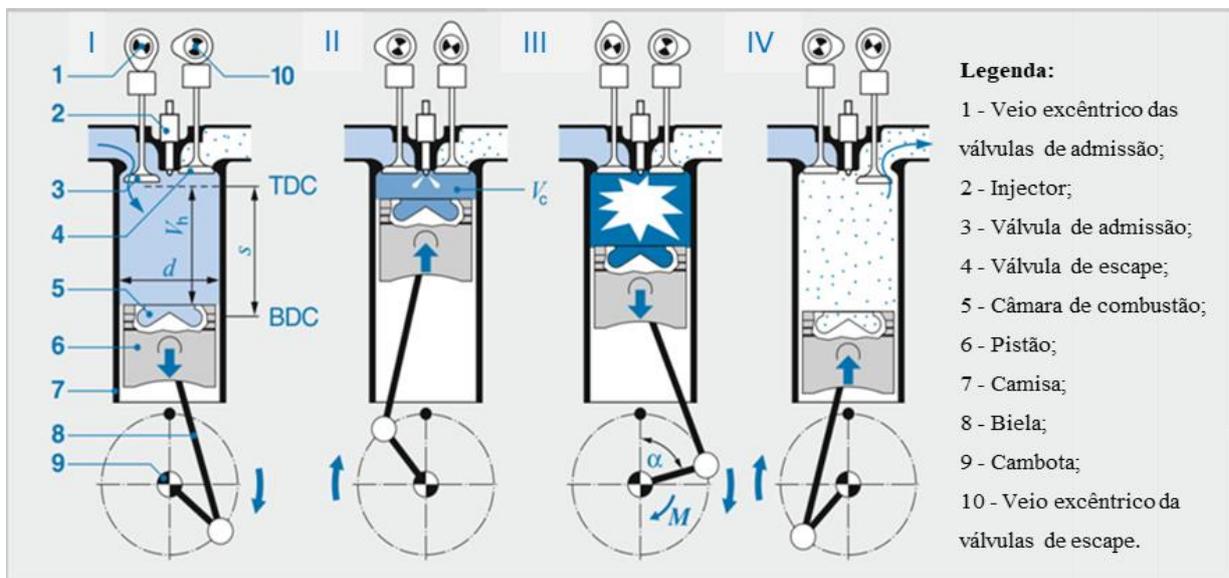


Figura 4: Funcionamento do Motor Diesel 4 tempos

(Fonte: Adaptado de JUNIOR, 2018.)

1º Tempo - Admissão: do PMS o pistão desce e a válvula de admissão abre, o ar fresco é admitido no interior do cilindro;

2º Tempo - Compressão: com todas válvulas fechadas, o ar fresco é admitido no interior do cilindro e é comprimido até atingir temperaturas elevadas o suficiente para a auto inflamação do gasóleo com o êmbolo no PMS;

3º Tempo - Expansão: com todas válvulas fechadas e com o pistão ligeiramente antes do PMS a bomba injectora manda o gasóleo a alta pressão, este gasóleo flui pelo tubo de alta pressão e a válvula solenoide através da ECU e faz com que o injector abra no ponto de injeção otimizado para cada regime de funcionamento do motor, assim o gasóleo é pulverizado em forma de névoa (a aproximadamente 4000 psi) no interior da camara de combustão.



Figura 5: a) Bomba injectora com selenóide da locomotiva GE C30 ACI; b) Injector da locomotiva GE C30 ACI

(Fonte: o Autor.)

Quando o gasóleo é atomizado à alta pressão na câmara de combustão e entra em contacto com ar comprimido à alta temperatura, este auto-inflama gerando uma pressão sobre a cabeça do pistão. A força da combustão força o pistão a descer para PMI, fazendo com que a força seja transmitida à cambota pelo movimento plano da biela.

4º Tempo- Escape: A válvula de escape abre e com o pistão em movimento ascendente (pela inércia do volante do motor) os gases resultantes da combustão são expelidos para o exterior do cilindro e passam pelo colector de escape. Nas locomotivas os gases de escape passam por um turboalimentador, ou seja, os gases giram uma turbina ligada ao compressor por um eixo comum.

A carcaça compressor comprime o ar fresco admitido, permitindo assim maior massa de ar no interior do cilindro (garantindo aumento da potência) e para melhor eficiência do ar antes de entrar no cilindro passa por um resfriador intermediário. Esse processo repete-se aos vários cilindros.

2.4.1. Sistema de injeção das locomotivas GE C30 aci

Para melhor perceber sobre a manutenção dos injectores feita no laboratório de injeção nas oficinas da empresa CFM-Sul, convém que se explique, primeiro, o sistema de injeção diesel e à posterior a composição e funcionamento do injector para perceber as possíveis falhas que os injectores podem apresentar.

Sistema de Injecção Unitária (UPS- Unit Pump System) é um conjunto integrado de componentes de injeção directa que equipa cada cilindro do motor diesel com um injector e uma bomba individual. O bico injector pulveriza e direcciona o combustível directamente para a câmara de combustão, permitindo uma injeção precisa com durações variáveis (SANTOS, 2021). A injeção feita com precisão resulta em uma combustão eficiente, proporcionando maior rendimento, menor consumo de combustível e emissões reduzidas de ruído e gases de escape. O UPS opera por meio de uma árvore de câmes posicionada sobre cada cilindro, que acciona um pequeno pistão dentro de cada unidade injectora, criando pressão antes da fase de compressão do pistão. Controlado electronicamente por uma válvula electromagnética de resposta rápida, o UPS regula o início e o fim da injeção, garantindo o tempo e a quantidade adequada de combustível.

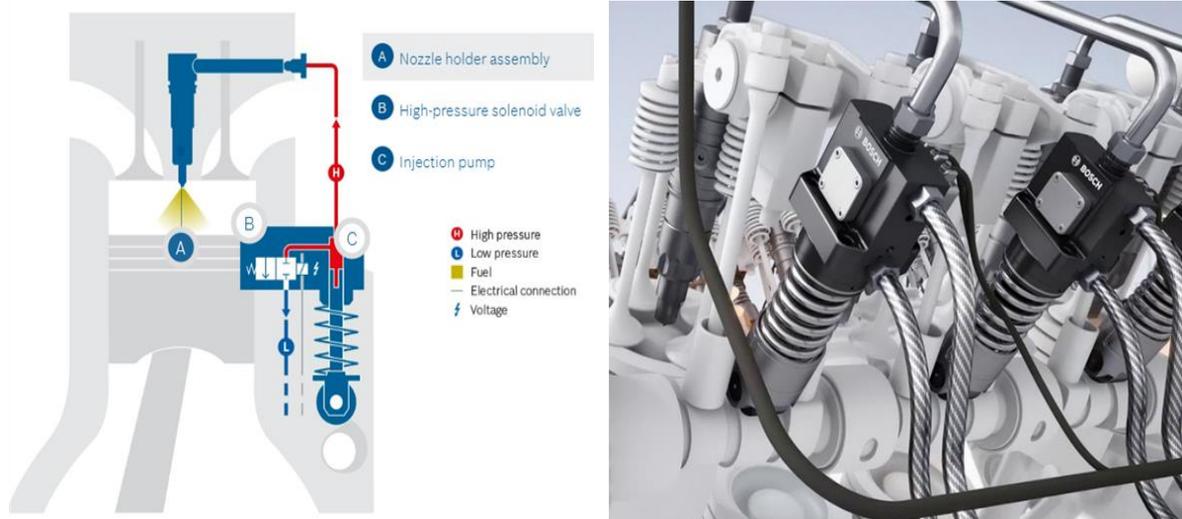
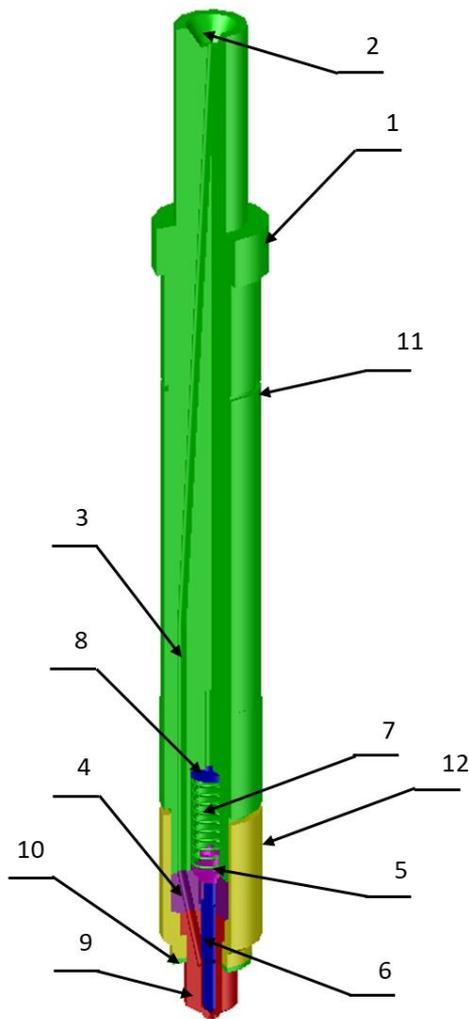


Figura 6: Sistema de Injecção Electrónica Unitária

(Fonte: Adaptado de <https://www.bosch-mobility.com>.)

2.4.2. Composição e funcionamento do injetor diesel das GE C30 ACI

O injetor, especificamente, a porção do bico, é considerado um dos componentes mais complexos do sistema de injeção, pois representa a interface directa com a câmara de combustão (JUNIOR, 2018). Basicamente o injetor é o elemento responsável pela atomização do gasóleo no interior da câmara de combustão. A *Figura 6* representa os componentes por meio do corte de um injetor padrão das locomotivas com 7FDL12, e serve e serve para o presente trabalho como suporte para a descrição do funcionamento do injetor a seguir:



Legenda:

- 1- Corpo do injetor diesel;
- 2- Canal de admissão;
- 3- Canal de alta pressão;
- 4- Disco intermediário;
- 5- Pino de pressão;
- 6- Agulha;
- 7- Mola interna;
- 8- Calço de pressão;
- 9- Corpo do bico injetora;
- 10- Anilha de vedação;
- 11- Vedante;
- 12- Porca de retenção do pico

Figura 7: composição básica do injetor das GE C30 ACI

(Fonte: o autor.)

O funcionamento preciso deste componente é crucial para garantir uma pulverização eficaz de combustível, resultando na melhor resposta do motor. Para isso, uma mola interna (7) aplica uma força sobre o pino (5), comprimindo a agulha (6) e mantendo os orifícios do bico injector (9) fechados. O combustível é admitido pelo canal de admissão (2) pela bomba injetora e válvula selenoide, passa pelo filtro de óleo do injector e flui pelo canal de pressão (3) até ao corpo do bico injector (9), onde se acumula ao redor da face da agulha (6). Conforme o combustível é admitido, a pressão nesta região aumenta, vencendo a força da mola e deslocando a agulha para cima. Assim, os orifícios do bico injector (9) são desobstruídos e o combustível é injectado na câmara de combustão até que a força da mola interna (7) prevaleça novamente. Destaca-se que a quantidade de combustível injectada é determinada pelo tempo em que a agulha permanece elevada. Para além dos componentes descritos também funcionam elementos do sistema de retorno. (JUNIOR, 2018)

A análise feita ao bico injector em particular, revela a existência de modelos com diversas geometrias, incluindo diferentes números e diâmetros de orifícios, bem como ângulos de injeção variados. Por exemplo, o diâmetro dos orifícios varia de 0,12 mm em motores de carros de passageiros a 1,5 mm em motores de grande porte.

CAPÍTULO III: CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3.1. Apresentação da empresa

3.1.1. Breve historial da empresa

Os Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique constituem uma empresa do sector ferro-portuário dedicada ao transporte de pessoas e mercadorias. Sua criação e organização foram aprovadas pelo Decreto Legislativo nº 315, de 22 de Agosto de 1931, que estabeleceu a unificação direccional e administrativa dos Caminhos de Ferro da colónia de Moçambique, seguindo os princípios da economia comercial.

Actualmente, os Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM) contam com uma nova estrutura orgânica e funcional que prioriza a horizontalidade, mobilidade e multidisciplinaridade de suas funções, assim como a melhoria na qualidade da gestão da empresa.

3.1.2. Estrutura orgânica da empresa

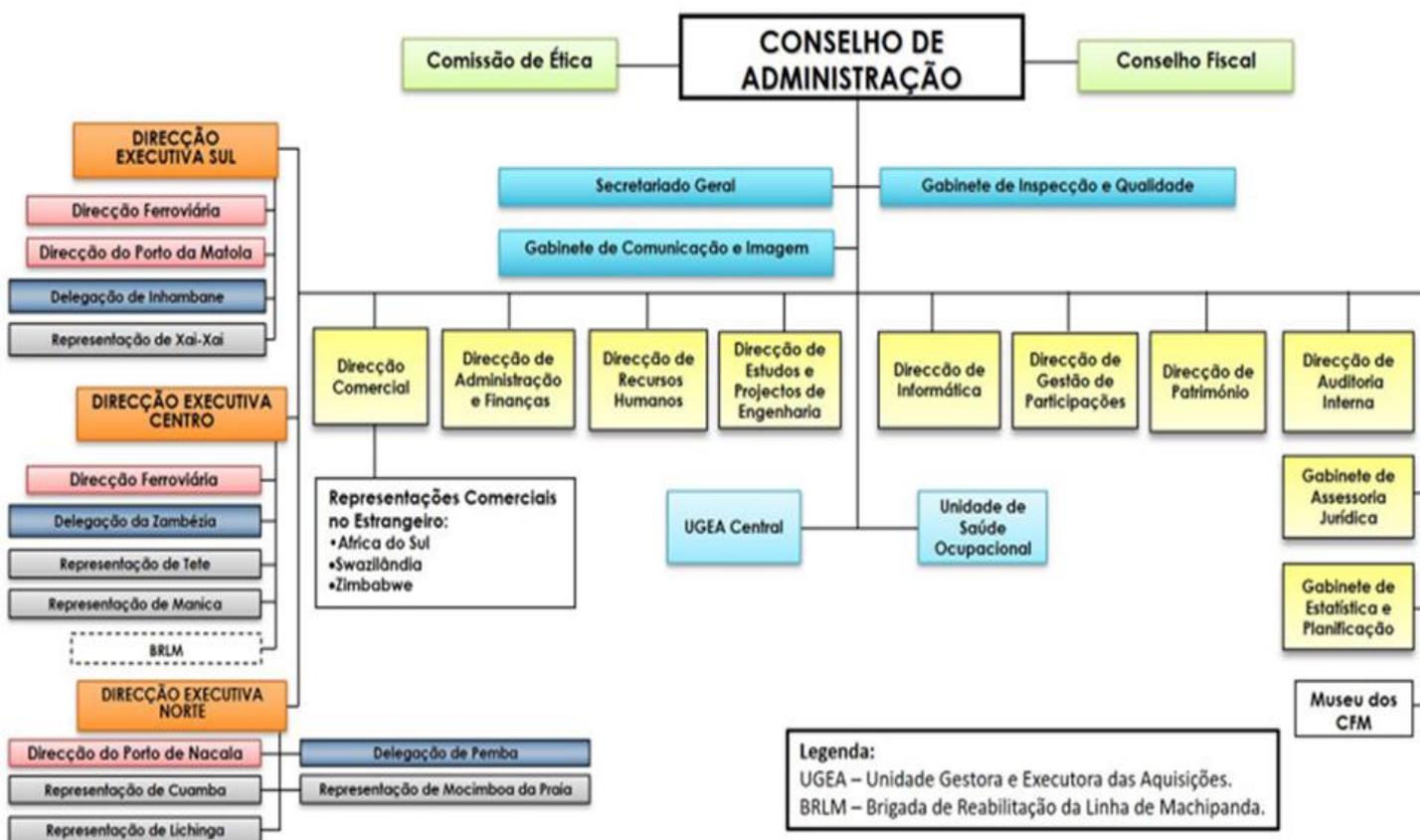


Figura 8: Estrutura orgânica da empresa.

(Fonte: www.cfm.co.mz.)

3.1.3. Oficinas Gerais dos CFM-SUL

As Oficinas Gerais dos Caminhos de Ferro de Moçambique-Sul são um complexo oficial completo, composto por departamentos interdependentes, responsáveis pela instalação, manutenção e reparação do material circulante (locomotivas, vagões e carruagens), bem como pelas infraestruturas ferroviárias. Além disso, atendem às necessidades internas da empresa, realizando a instalação, manutenção e reparação de equipamentos industriais mecânicos e eléctricos. Estas oficinas são organizadas em cinco departamentos distintos, a saber:

1) Departamento de Conservação Oficial

Este departamento tem a responsabilidade de garantir o bom funcionamento de todas as máquinas-ferramentas, pontes rolantes e instalações das oficinas gerais como um todo. Ele é subdividido em dois sectores: Mecânico e Eléctrico.

2) Departamento de Produção Geral

Neste departamento, são utilizadas máquinas-ferramentas para a fabricação de peças, bem como algumas ferramentas úteis para qualquer um dos departamentos e sectores das oficinas gerais.

3) Departamento de Material Motor

No Departamento de Material Motor é realizada a manutenção das locomotivas. Este departamento é composto por duas secções distintas: uma responsável pela manutenção programada e outra encarregada da manutenção correctiva.

4) Departamento do Material Rebocado

Neste departamento, são realizados diversos tipos de trabalhos relacionados ao acondicionamento do material rebocado, abrangendo serralharia, estufaria, montagem e pintura. O departamento subdivide em dois sectores distintos: um dedicado aos vagões e outro às carruagens

5) Departamento de Revisão de Material

Neste departamento, é realizada a revisão do material circulante antes de sua partida para qualquer viagem.

3.1.4. Actividades realizadas durante o período de estágio

Dada a amplitude do curso de Engenharia Mecânica, foi necessário, durante o estágio, participar de actividades em diferentes sectores, a fim de garantir uma aprendizagem ampla e variada. Neste sentido, o estágio teve início no Departamento de Material Motor – Sector Posto Diesel e sua conclusão no Departamento de Material Motor – Sector Mecânico, cada um com a duração de 45 dias.

Departamento de Material Motor

Neste departamento, são realizadas tanto a manutenção correctiva quanto a preventiva nas locomotivas e seus componentes. O departamento compreende quatro sectores, a saber: Gabinete de Organização de Trabalho (GOT), Sector Posto Diesel, Sector Eléctrico e Sector Mecânico.

O Sector Posto Diesel é especializado em manutenções correntes, focando-se em realizar manutenções preventivas e reparações de pequenas avarias nas locomotivas e seus componentes. Este sector está subdividido em: Gabinete de Organização de Trabalho (GOT), Secção Eléctrica, Secção Mecânica, Laboratório, Secção de Lavagem e Secção de Abastecimento. As manutenções realizadas nesse sector incluem Inspeções correntes; Revisões semanais; Revisões mensais; Revisões trimestrais; Revisão semestrais; Revisões 1 (R1; R4) – intervenções realizadas anualmente, 4 anos.

Tabela 1: Actividades desenvolvidas durante o período de estágio

Actividades no sector Posto Diesel	
Componentes	Descrição das actividades
Motor Diesel	Diagnostico de avarias; verificação, colecta de óleo para análise e abastecimento do óleo do motor diesel; substituição de bombas injectoras e injectores; substituição dos filtros de óleo, diesel e filtros de ar; lubrificação do veio do MD - Compressor exaustor.
Compressor Exaustor	Diagnostico de avarias; verificação, colecta de óleo para análise e abastecimento do óleo do compressor-exaustor; substituição de válvulas, rectificação das sedes das válvulas, limpeza e reparação.
Sistema de Freios	Substituição de cepos, ajuste da timonaria e inspecção do sistema de produção de ar-comprimido e vácuo; lavagem da panela de vácuo e filtros
Sistema de Tracção	Lubrificação das caixas chumaceiras; enchimento de massa nas caixas de engrenagens e lavagem dos feltros.
Outros	Lavagem do motor diesel; verificação e abastecimento de água; substituição de amortecedores, etc.
Actividades no DMM Sector Mecânico	
Bogies	Desmontagem do conjunto de motores de tracção e rodados da estrutura dos bogies; desmontagens dos motores de tracção do eixo dos rodados; desmontagem e limpeza das caixas chumaceiras e caixas de engrenagem, substituição de molas e rolamentos, e montagem dos bogies nas locomotivas.
Motor Diesel	Desacoplamento dos geradores ao MD; desmontagem das unidades de potência; desmontagem dos dispositivos de protecção do MD e reparação geral do motor diesel.
Injectores e Bombas Injectoras	Desmontagem, lavagem, retificação do conjunto agulha e sede; montagem e teste de pulverização dos injectores; testes e ajustes das bombas injectoras.

(Fonte: O autor.)

3.2. Manutenção dos injectores no laboratório de injeção

Como foi dito anteriormente que durante a manutenção dos injectores de gasóleo das locomotivas C30 ACI, verificam-se falhas constantes nos injectores, incluindo problemas de baixa pressão de injeção, gotejamento e outras falhas. Além de falhas, este processo de manutenção também é caracterizado pela sua morosidade. Em seguida, descrevem-se alguns procedimentos do processo de manutenção desses injectores:

3.2.1. Desmontagem e lavagem dos componentes dos injectores

O processo de manutenção inicia com a recepção dos lotes de injectores que são conjuntos de doze (12) injectores. Pega-se cada lote de injectores faz-se a lavagem externa dos injectores e depois segue a desmontagem dos componentes, que consiste basicamente no desaperto da porca de retenção do bico injector, de seguida os outros elementos dos injectores facilmente são extraídos.



Figura 9: Bancada de lavagem dos injectores.

(Fonte: O autor.)

3.2.2. Rectificação da agulha da sede do bico injector

Na rectificação da agulha primeiro faz-se uma pré-lavagem da agulha e do bico injector utilizando gasóleo (para o caso do bico injector usa-se gasóleo pressurizado até que o gasóleo saía pelos orifícios de injeção) e depois insere-se o conjunto agulha e bico injector na bucha da máquina rectificadora de agulhas e bicos injectores. Este processo é um dos mais complexos e exaustivos da manutenção dos injectores porque é extremamente difícil e imprevisível o alinhamento da agulha do injector com o eixo da máquina rectificadora, contudo, só depois de acertar ou alinhar a agulha, isto é, depois de garantir que a vibração da agulha seja mínima ou praticamente indetectável durante a rotação da máquina rectificadora, segue-se a lapidação da agulha injectora.

A lapidação da agulha é feita com o auxílio de um pano de algodão bem macio, sobre este e a agulha aplica-se o esmeril misturado com óleo lubrificante. Depois de aplicado o esmeril, o operário ou técnico reparador dos injectores com a máquina rectificadora em rotação passa o pano sobre a agulha até que a mesma fique lapidada.



Figura 10: Máquina rectificadora de agulhas e sedes dos bicos



Figura 11: Limpeza do bico injector

(Fonte: O autor.)

Depois de lapidar a agulha, faz-se a limpeza da mesma e daí, novamente é aplicado o esmeril sobre ela e agulha é inserida no bico injector e a máquina é ligada, depois aplica-se uma força axial variável de modo a garantir que ocorra a rectificação da sede do injector.

3.2.3. Limpeza final e montagem do injector

Faz-se a limpeza final do injector e depois dos seus elementos internos utilizando gasóleo. Após isto, todos elementos são montados de forma precisa e atenciosa de acordo com o manual do fabricante.



Figura 12: Limpeza final dos bicos injectores

(Fonte: O autor.)

3.2.4. Teste de pressão e pulverização

Com a montagem final do injector já feita faz-se o teste de pressão, de modo a aferir com que pressão limite abre a agulha injectora. Para tal, o técnico reparador dos injectores monta o injector na bancada de testes e instala-o sobre o injector com o tubo de alimentação do gasóleo à alta pressão (para o teste usa-se o fluído calibrado e não gasóleo comum) e de seguida o técnico macaqueia manualmente a bomba de alta pressão por meio de uma alavanca de cabo curto (este processo requer um grande esforço físico). Nos testes de pressão e pulverização o técnico primeiro verifica se não ocorre uma queda de pressão no sistema, por segundo verifica a pressão de injeção e por fim avalia de forma qualitativa o nível de pulverização do injector



Figura 13: Testagem dos injectores

(Fonte: O autor.)

3.2.5. Falhas dos injectores

Os testes dos injectores permitem distinguir as diferentes falhas e as possíveis soluções para a correcção das mesmas falhas de modo a não comprometer o funcionamento do motor diesel. A seguir indicam-se algumas falhas mais frequentes dos injectores das locomotivas GE C30 ACI:

- ✓ Baixa pressão de injeção;
- ✓ Gotejamento;
- ✓ Fraco nível de pulverização.

A ocorrência de qualquer uma destas falhas resulta no funcionamento ineficiente do MD, obrigando que o injector seja deve ser desmontado e reparado novamente, e por vezes devem ser adicionados calços (no caso de baixa pressão), rectificação da sede do bico injector (face de contacto entre o bico injector e agulha) no caso de gotejamento ou uma simples limpeza devido à presença de impurezas ou partículas no interior do injector.

3.2.6. Inconvenientes do actual método e ferramentas de manutenção dos injectores

Observou-se uma recorrência de falhas nos injectores das locomotivas GE C30 ACI, incluindo outras falhas operacionais no procedimento de manutenção e reparação dos injectores. Descrevem-se detalhadamente os principais inconvenientes verificados:

- ✓ **Ocorrência frequente de falhas dos injectores:** a falta de diagnóstico antes do início da manutenção torna a ocorrência de falhas mais frequentes pós-manutenção. O ideal seria, antes de se abrir o injector ter uma ideia geral das operações que deverão ser envolvidas, pois, o equipamento necessário envolvido não permite saber a taxa de débito do injector.
- ✓ **Desgaste físico e mental do técnico reparador:** O alinhamento da agulha na máquina rectificadora é um processo bem difícil e nunca se sabe quando de facto estará a agulha alinhada. O exercício consiste meramente em fazer tentativas até que a vibração seja quase que indetectável. Este processo repetitivo (montagem e desmontagem da agulha da bucha até que esta esteja alinhada) acaba gerando fadiga mental do trabalhador, porque quase todas as operações envolvidas na reparação dos injectores são feitas de pé. Macaquear manualmente a alavanca da bomba de pressão causa o desgaste físico do trabalhador, para além do risco de contrair lesões.
- ✓ **Lentidão do processo de manutenção:** a reparação do injector acaba se tornando um processo lento devido ao tempo que o operário leva nas suas tentativas de acertar a agulha e o processo de macaquear a bomba de alta pressão para a injeção do gasóleo. Além disso, ocorrem constantes montagens e desmontagens dos injectores devido à ocorrência de falhas no teste do mesmo. Esses inconvenientes acabam gerando uma grande demanda de mão-de-obra acarretando os custos da manutenção a ser desenvolvida.

CAPÍTULO IV: METODOLOGIA E RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

4.1. Análise da taxa de falhas

Começamos pela análise da taxa de falhas dos injectores no seu processo de manutenção.

Para o efeito, foram colectados dados de quatro (4) lotes de doze (12) injectores das locomotivas GE C30 ACI a serem reparados no laboratório de injeção das Oficinas Gerais dos Caminhos de Ferro de Moçambique. De seguida, foram efetuados todos os procedimentos para a manutenção dos mesmos (desmontagem e lavagem, rectificação da agulha do bico injetor, limpeza final e montagem). Por fim, foram efetuados testes de pressão e pulverização destes injetores já reparados, de modo a aferir com que pressão limite abre a agulha injectora e avaliar de forma qualitativa o nível de pulverização de cada injetor.

Deste modo, a *Tabela 2* ilustra as falhas registadas em alguns dos injectores testados após a manutenção no laboratório de injeção. Faz-se notar que os injectores das locomotivas GE C30 ACI não possuem números de série, por isso, para o presente trabalho, abriu-se números de série para a designação dos lotes reais de injectores a serem reparados no laboratório de injeção da empresa CFM-Sul.

Tabela 2: Falhas registadas alguns lotes de injectores no laboratório de injeção

Injectores 1	Situação	Injectores 2	Situação	Injectores 3	Situação	Injectores 4	Situação
1ACI001	A	2ACI001	G	3ACI001	A	4ACI001	A
1ACI002	A	2ACI002	A	3ACI002	A	4ACI002	A
1ACI003	A	2ACI003	A	3ACI003	A	4ACI003	P
1ACI004	G	2ACI004	A	3ACI004	G	4ACI004	A
1ACI005	A	2ACI005	A	3ACI005	G	4ACI005	A
1ACI006	P	2ACI006	A	3ACI006	A	4ACI006	P
1ACI007	G	2ACI007	P	3ACI007	A	4ACI007	A
1ACI008	A	2ACI008	A	3ACI008	G	4ACI008	A
1ACI009	A	2ACI009	A	3ACI009	G	4ACI009	A
1ACI010	G	2ACI010	A	3ACI010	A	4ACI010	A
1ACI011	A	2ACI011	P	3ACI011	A	4ACI011	G
1ACI012	A	2ACI012	A	3ACI012	A	4ACI012	G
Injectores	Aprovados	Gotejamento	B. Pressão	Estatística do teste dos injectores			
Lote 1	8	3	1	Total das amostras			48
Lote 2	9	2	1	Taxa de aprovação			68,8%
Lote 3	8	4	0	Taxa de falha gotejamento			22,9%
Lote 4	8	2	2	Taxa de falha por baixa pressão			8,3%
Total	33	11	4				

(Fonte: O autor)

Legenda:

A - Aprovado

G – Falha por gotejamento

P – Falha por baixa pressão de pulverização

CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Apresentação dos dados referentes à análise da taxa de falhas na manutenção dos injectores:

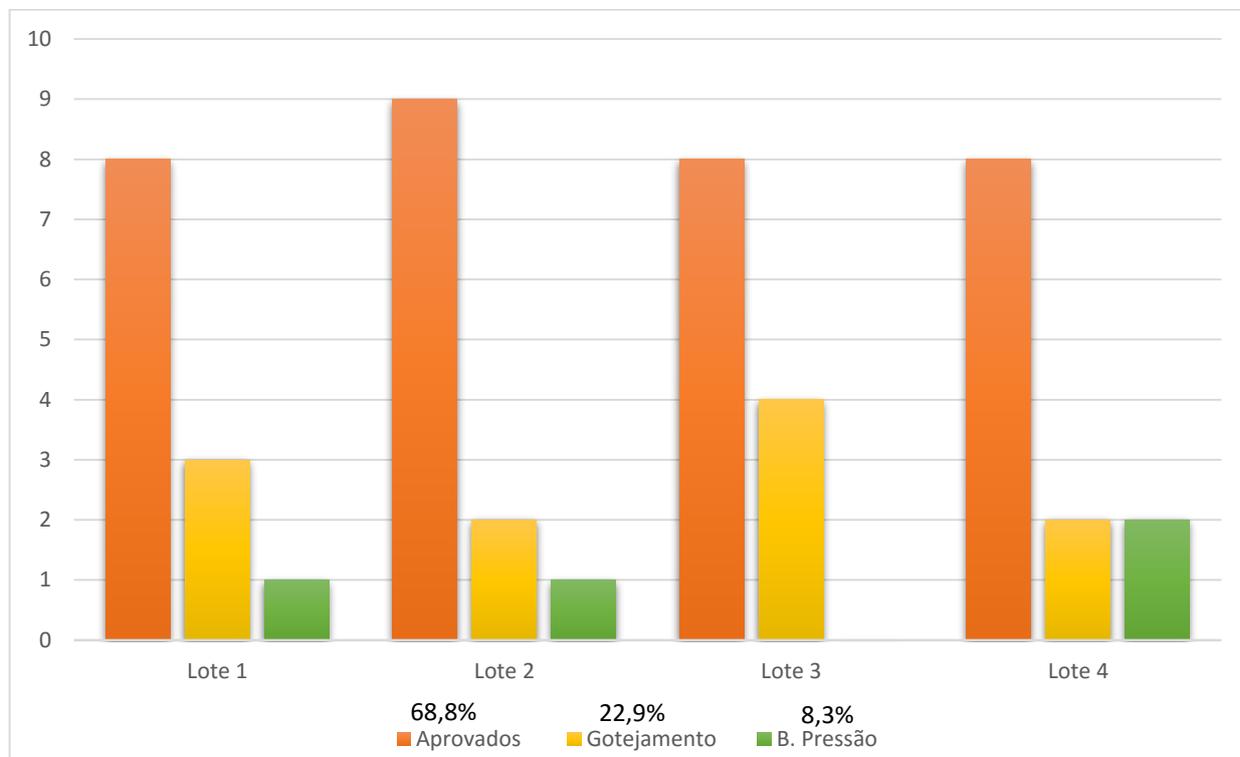


Figura 14: Gráfico da análise de falhas na manutenção dos injectores

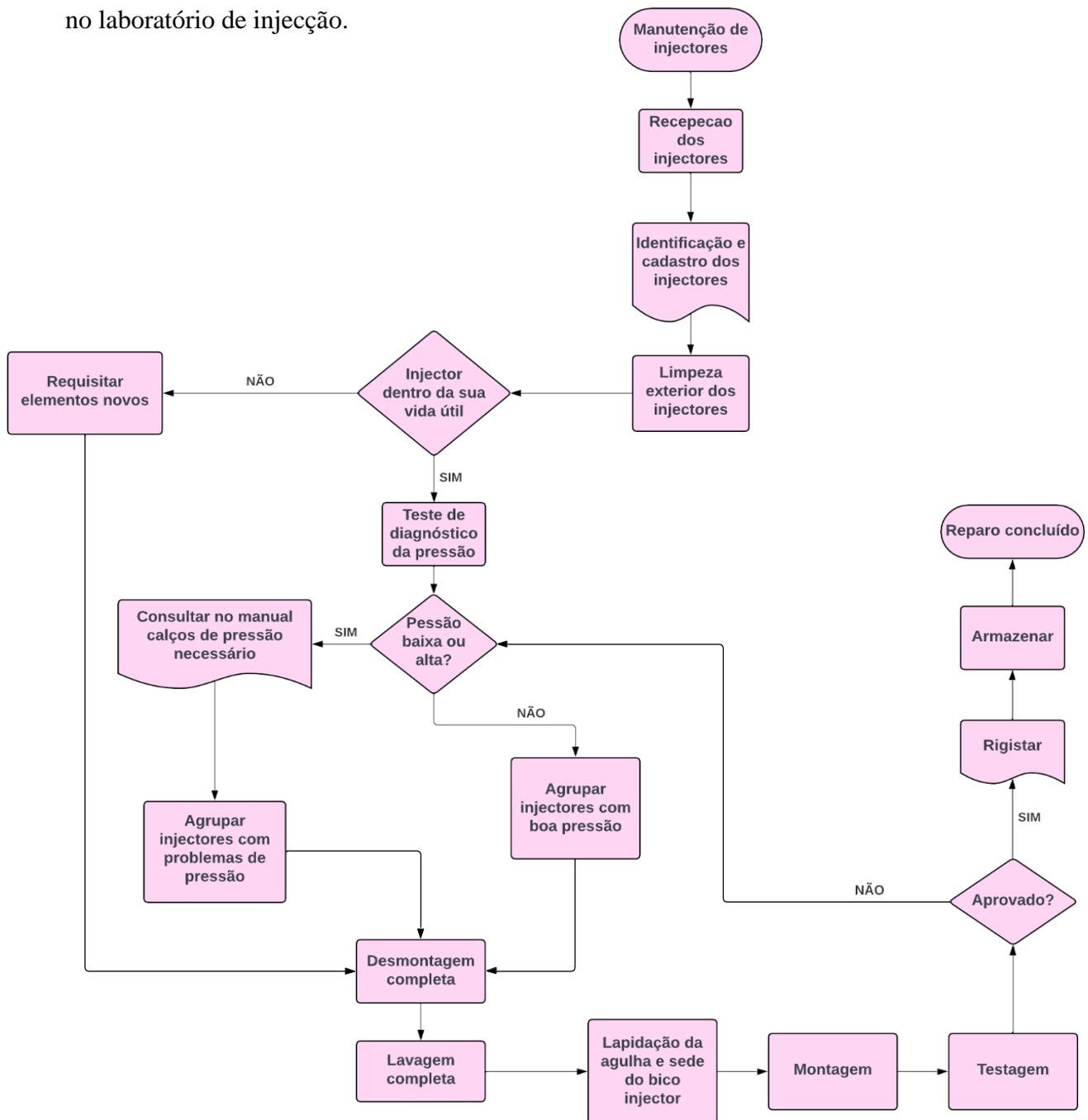
(Fonte: O autor.)

Os dados colectados durante a manutenção dos injectores das locomotivas GE C30 ACI no laboratório de injeção permitem notar que para uma amostra de quatro lotes de injectores, isto é, quatro conjuntos de doze injectores, ocorre uma taxa de falha de aproximadamente 31%, dos quais 22,9% são falhas devido ao gotejamento, o que revela a presença de impurezas ou que a agulha não está perfeitamente assente sobre a sedo do bico injector, resultado de má rectificação da sede devido a vibrações na máquina de rectificação (mau alinhamento da agulha na bucha da máquina rectificadora). Os restantes 8,3% de falha são devido a baixa pressão do injector. Esta falha ocorre geralmente por falta de um teste de diagnóstico antes da manutenção ocorrer. A realização do teste diagnóstico permitiria identificar a natureza do problema, se os injectores precisariam ou não de calços de pressão adicionais ou de substituição das molas para elevar a sua pressão de injeção aquando da sua reparação.

5.2. Soluções propostas

5.2.1. Melhoria dos procedimentos de manutenção

Tal como referido anteriormente, os procedimentos de manutenção são ineficientes porque, por um lado não é feito um diagnóstico antes da desmontagem, lapidação, além de outros processos envolvidos durante a manutenção dos injectores das locomotivas GE C30 ACI no laboratório de injeção da CFM-Sul. Por outro lado, não estão especificados ou explicitados os procedimentos que os técnicos devem seguir. A *figura 13* mostra o fluxograma das melhorias propostas relativamente aos passos ou instruções a serem observadas durante a manutenção dos injectores no laboratório de injeção.



(Fonte: O autor.)

Figura 15: Fluxograma da melhoria dos procedimentos de manutenção dos injectores

A implementação dos procedimentos acima indicados permite um diagnóstico prévio da condição do injektor antes da sua desmontagem, e permite que o técnico reparador possa trabalhar na perspectiva de procurar uma solução de uma situação previamente diagnosticada, tornando o trabalho do mesmo mais flexível, seguro e eficiente.

Para além da melhoria dos procedimentos de manutenção também se propõe a melhoria dos equipamentos envolvidos na manutenção dos injectores no laboratório de injeção de modo a otimizar o processo de manutenção dos injectores. Tais melhorias incluem o restauro da bancada de limpeza, restauração da máquina rectificadora das agulhas e das sedes dos bicos injectores. A seguir faz-se a descrição detalhada das melhorias sugeridas.

5.2.2. Melhoramento da bancada de lavagem dos injectores

A bancada de limpeza é um factor importante para a reparação dos injectores e uma má configuração da mesma faz com que existam impurezas nos próprios injectores durante a operação de lavagem. A melhoria da bancada sugerida é a projeção de instalação hidráulica com bomba de sucção eléctrica, filtros de diesel, filtro do tipo crivo na cuba de modo a isolar o diesel usado na lavagem do próprio injektor. A figura abaixo mostras basicamente a bancada melhorada.

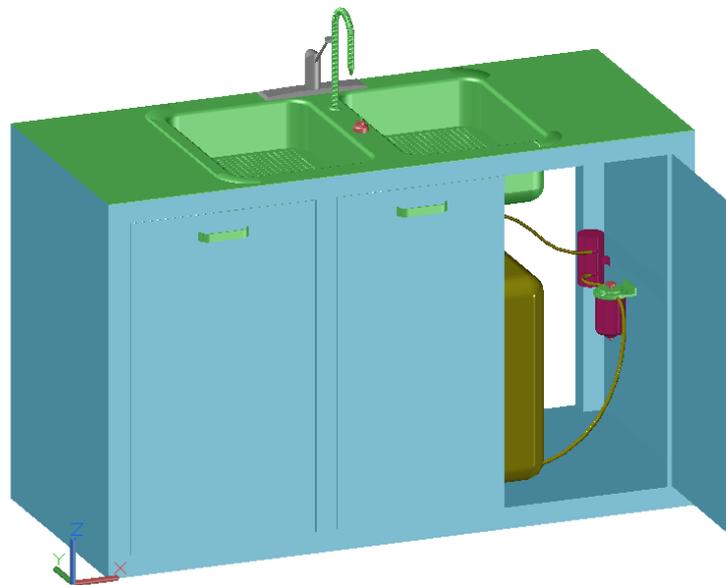


Figura 16: Bancada de limpeza dos injectores Melhorada

(Fonte: O autor.)

5.2.3. Aquisição de uma máquina rectificadora das agulhas e sedes dos bicos injectores

A outra melhoria sugerida neste trabalho é a aquisição da máquina rectificadora GR-8000 visando otimizar o processo de rectificação das agulhas e sedes dos bicos injectores, impulsionando a

eficiência, a precisão e a qualidade da operação. Através da alta precisão da máquina, espera-se que o resultado seja reduzir significativamente o tempo de rectificação, melhorar o desempenho dos bicos injectores, prolongar sua vida útil e diminuir a taxa de falhas durante a manutenção.



Figura 17: GR-800 Rectificadora de Agulhas e Sedes dos bicos injectores

(Fonte: www.aliexpress.com.)

1) **Uso da máquina GR-8000:**

- ✓ **Limpeza:** Antes de usar a máquina, é importante limpar cuidadosamente as agulhas e sedes dos bicos injectores para remover resíduos ou detritos.
- ✓ **Instalação:** Instalação das agulhas e sedes na máquina deve ser de acordo com as instruções do fabricante.
- ✓ **Rectificação de Agulhas:** As agulhas dos bicos injectores são componentes essenciais que controlam a precisão da injeção de combustível. A máquina rectificadora é utilizada para rectificar as pontas das agulhas, restaurando sua geometria original. Isso é fundamental para garantir que a quantidade correcta de combustível seja injectada no motor.
- ✓ **Rectificação de Sedes:** As sedes dos bicos injectores são as superfícies onde as agulhas se assentam. Com o uso contínuo, as sedes podem sofrer desgaste ou danos que afectam a vedação e o desempenho do sistema de injeção. A máquina rectificadora é empregada para rectificar essas sedes, restaurando sua planicidade e garantir uma vedação perfeita entre a agulha e a sede.
- ✓ **Ajustes de Precisão:** Além da rectificação, a máquina permite ajustes finos para garantir que as tolerâncias e as especificações de fábrica sejam rigorosamente seguidas. Isso é crucial para otimizar o desempenho do motor em termos de economia de combustível, potência e emissões

- ✓ **Limpeza:** Após a rectificação, limpe novamente as agulhas e sedes para remover qualquer resíduo do processo de rectificação.

2) Vantagens:

A máquina rectificadora GR-8000 oferece vantagens significativas na manutenção de bicos injectores, proporcionando precisão excepcional na rectificação das agulhas e sedes. Essa precisão assegura um ajuste perfeito que otimiza o desempenho do motor, aumentando sua eficiência operacional e prolongando a vida útil dos componentes. Além de contribuir para a economia de combustível e redução de emissões, a máquina também representa uma economia financeira a longo prazo, ao minimizar a necessidade de substituições frequentes de bicos injectores.

5.2.4. Aquisição de bancada de teste dos injectores

A bancada de teste dos injectores VPUD1100 SV é uma ferramenta essencial para a manutenção e o diagnóstico preciso dos injectores de locomotivas. Projectada para atender às necessidades específicas de sistemas de injeção de grandes motores diesel, como os usados em locomotivas, essa bancada permite realizar testes detalhados e rigorosos nos injectores para garantir seu funcionamento ideal.



Figura 18: VPUD1100 SV Bancada de Teste dos injectores

(Fonte: www.chris-marine.com.)

1) Funcionalidades e Uso:

A bancada de teste dos injectores VPUD1100 SV possibilita verificar uma série de parâmetros críticos dos injectores, como pressão de injeção, padrão de pulverização do combustível, e vazão. Esses testes são fundamentais para assegurar que cada injector esteja operando dentro das especificações de fábrica, garantindo assim a eficiência energética do motor diesel e a redução das emissões. A seguir a descrição de algumas das Funcionalidades da Bancada de Teste:

- ✓ **Teste de vazão:** A bancada mede a quantidade de combustível que cada injector fornece em um determinado período de tempo. Isso garante que todos os injectores estejam fornecendo a mesma quantidade de combustível, o que é essencial para um funcionamento suave e eficiente do motor.
- ✓ **Teste de pressão:** A outra funcionalidade da bancada é medir a pressão do combustível fornecido por cada injector. Isso garante que os injectores estejam fornecendo pressão suficiente para atomizar o combustível de forma eficaz e garantir uma combustão completa.
- ✓ **Calibração:** A bancada permite calibrar os injectores para que forneçam a quantidade correcta de combustível e a pressão correcta. Isso é importante para garantir o desempenho ideal do motor e reduzir as emissões.
- ✓ **Diagnóstico de falhas:** A bancada serve para diagnosticar falhas nos injectores, derivadas de entupimentos ou desgaste. Isso permite que os técnicos identifiquem e corrijam problemas antes que causem danos ao motor.

2) Vantagens:

Foi referido antes que a bancada de teste de injectores desempenha um papel crucial em diversas frentes para as locomotivas. A obtenção de resultados precisos, permite ajustes finos nos injectores, maximizando o desempenho do motor e prolongando sua vida útil. Além de promover a manutenção preventiva ao identificar e corrigir potenciais problemas potenciais antes que afectem o funcionamento, contribui para a redução de custos operacionais e de manutenção a longo prazo, evitando desgastes prematuros e melhorando a eficiência do combustível.

A eficácia da bancada de teste de injectores VPUD1100 SV, assegura que os injectores estejam em conformidade com os padrões ambientais e regulatórios, garantindo emissões dentro dos limites estabelecidos. A bancada permite ainda que a operação de testagem dos injectores durante a manutenção dos mesmos seja feita em menos tempo e de forma mais segura, já que a pressão de injeção é automática e não depende da força humana do técnico reparador.

Com a implementação das melhorias dos equipamentos e das técnicas propostas neste trabalho para a manutenção dos injectores no laboratório de injeção espera-se que os seguintes resultados sejam alcançados:

- ✓ **Redução do esforço físico e mental dos técnicos reparadores dos injectores.** Uma vez alcançado este resultado não seria necessário macaquear com forças de mais de 15 kgf ou auxiliar-se no peso próprio para a bomba hidráulica durante o teste dos injectores. Também com melhoria do sistema de centragem da agulha e bucha da máquina rectificadora das agulhas, o técnico reparador não ficaria obrigado a elevar a sua concentração até acertar a agulha na bucha de modo que a vibração seja mínima (até que não seja visível e não seja sentida).
- ✓ **Redução do tempo de manutenção.** Com este resultado fica mais fácil alinhar a agulha na bucha da máquina rectificadora de agulhas dos injectores (actualmente é difícil saber, quando a agulha estaria alinhada pois depende exclusivamente da paciência do técnico reparador determinar, após múltiplas tentativas). Também, não seria mais necessário macaquear a bomba hidráulica do teste de injectores tornando o processo da manutenção dos injectores mais rápido.
- ✓ **Redução dos riscos de lesões.** Este resultado esperado tem impacto directo na vida do técnico reparador que actualmente exerce força física contra a alavanca sob o risco de escorregamento ao chão, por vezes contaminado com diesel e outros óleos. Isso tornaria a operação de manutenção dos injectores mais segura.
- ✓ **Melhoria da eficiência do injector.** A solução proposta visa a melhoria da) máquina rectificadora de agulhas e bicos injectores *GR-8000* e a bancada de teste de injectores *VPUD1100 SV*. Isso melhoraria a eficiência dos injectores, uma vez que permitiria aprimorar a rectificação das agulhas e bicos injectores e também permitiria a avaliação de uma série de parâmetros cruciais para um bom funcionamento dos injectores.

Com os resultados esperados acima propostos tornar-se-ia possível alcançar maior produtividade devido a flexibilização e confiabilidade na realização da manutenção dos injectores, assim como traduzir-se-ia na preservação dos técnicos reparadores, relativamente aos factores ergonómicos, devido a ausência ou redução do esforço físico-muscular que actualmente é aplicado. A solução proposta neste trabalho reduz também a inalação de produtos tóxicos (como a névoa de diesel presente durante o teste dos injectores, que actualmente se espalha no interior do laboratório).

5.3. Análise de custos

Nesta secção do trabalho apenas serão apresentados os custos de aquisição do equipamento para a optimização da operação de manutenção dos injectores no laboratório de injeção. A presente análise não confere o estudo de viabilidade económica.

Tabela 3: Análise dos custos

Máquina ou componente	Marca/ Modelo	Q	Preço/ uni (MTS)	Preço (MTS)
Rectificadora de agulhas e cedos dos bicos injectores	GR-8000	1	108,282.00	108,282.00
Bancada de teste de injectores	VPUD1100 SV	1	305,735.00	305,735.00
Filtro de diesel com separador de água	CF1000	1	6,140.00	6,140.00
Crivo	AÇO INOX 2 mm	1m ²	320.00/m ²	320.00
Tubulação hidráulica	Ø7mm X 3mm	3	380.00/m	1,140.00
Torneira	1/4 VOLTA C-64		2,710.00	2,710.00
Chaves eléctricas	40251348 2P	1	375.00	375.00
Cuba dupla	AÇO INOX	1	4,500.00	4,500.00
Bomba eléctrica	YONGYAO	1	4,635.00	4,635.00
Fonte 12V	FIOLUX-10103126111	1	2,804.00	2,804.00
Abraçadeiras metálicas	1	20	30.00	600.00
Reservatório plástico	50 litros	2	3,190.00	6,380.00
Chapa de aço inox	1200X2400X1.6	1	8,000.00	8,000.00
Tubo de aço	40X40X1.5X5600	2	950.00	1,900.00
Total				453,521.00

(Fonte: O autor.)

CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

Os métodos e equipamentos actualmente usados na manutenção dos injectores das locomotivas na empresa CFM-Sul mostram-se ineficientes, uma vez que a taxa de aprovação verificada é de aproximadamente 68% para uma amostra de 48 injectores submetidos à manutenção no laboratório de injeção (da própria CFM-Sul). Para além disso, actualmente, a manutenção exige grande esforço físico do trabalhador, sob risco de lesões. O processo é caracterizado por se lento, onde são necessários aproximadamente 5 dias úteis para a reparação e testagem de um jogo de injectores, facto que não permite ter variáveis quantitativas muito importantes tais como, o débito do injector.

O presente trabalho analisa dados de manutenção e apresenta estratégias de melhorias dos equipamentos envolvidos na manutenção de injectores por forma a minimizar a taxa de falhas correntes e otimizar o processo de manutenção dos injectores.

Por fim, conclui-se que os objectivos do presente trabalho foram alcançados na totalidade, uma vez que foi possível colectar dados, proceder à sua análise, identificar problemas e propor estratégias de melhorias dos equipamentos e procedimentos com vista a resolver os inconvenientes existentes na manutenção dos injectores, para dessa forma, reduzir o esforço muscular e fadiga mental dos técnicos reparadores dos injectores, garantindo a segurança dos mesmos e aumentar a eficiência da operação e aumentar a produtividade da empresa CFM-Sul em particular e dos CFM em geral.

6.2. Recomendações para trabalhos futuros

Dada a complexidade do trabalho realizado e considerando o tempo limitado para estudos desta natureza, três sugestões são feitas o aprimoramento de análise e aprofundamento de conhecimentos.

- ✓ A primeira sugestão feita à empresa é a aplicação de ferramentas Fluidodinâmica Computacional (CFD) para avaliar os efeitos das falhas dos injectores no funcionamento Motor Diesel;
- ✓ A segunda sugestão é relativa a estudos posteriores que devem examinar a possibilidade de implementação de um sistema de gestão de manutenção computadorizada.
- ✓ Finalmente, sugere-se a elaboração de sistemas de ventilação e recirculação do ar para o laboratório de injeção de forma a minimizar os efeitos nocivos no ambiente de trabalho operando com diesel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BETTAZZI, G.C. 2003. “á Análise da Força Longitudinal Devida a Frenagem Considerada Pela NBR7187” â. Universidade Federal da Bahia.

BORBA, José Luiz. 2011. Mecânica de Locomotivas. Editado por VALE. 1a ed. Belo Horizonte - MG.

BOSH. 2018. *Unit pump system and unit injector system.* Robert Bosch GmbH 2018, 2018.

CFM. 2016. Material Rebocado: Estrutura e Reparação. Editado por Oficinas Gerais. 1a ed. Maputo.

CHRIS-MARINE. *Catalogue Fuel injector Test Rig VDUD 1100 SV.*

G. CHEN, et al. 2019. *Development of the Low-Emission GE-7FDL High-Power Medium-Speed Locomotive Diesel Engine.* Department of Mechanical Engineering, Gannon University. s.l. : Journal of Engineering for Gas Turbines and Power by ASME, 2019.

HANMI POWER . 2007. *Instruction Manual - Fuel Valve Test Device Model: HDFD-1100.* HANMI HYDRAULIC MACHINERY CO., LTD. Korea, 2007.

JUNIOR, John Adilson Henschel. 2018. *Análise da Injeção de Combustível nos Parâmetros de Operação de um Motor Diesel Tipo Ferroviário.* Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2018.

MATTOS, M.G., 2006. “Capacidade de Produção das Oficinas de Locomotivas em Função das Necessidades Operacionais”. Trabalho de conclusão de curso, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro - RJ.

PEÇA, José Oliveira. 2012. *Motor Diesel.* Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora . Évora, 2012.

SANTOS, Luis Carlos Aguiar. 2021. *Sistema de Injecção Diesel.* Departamento de Engenharia Electrotécnica (DEE), Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Porto, 2021.

SILVA, Paulo da. 2012. Mecânica de Vagões. Editado por ISUTC/VALE/CFM. 1a ed. Maputo: ISUTC.

ANEXOS

ANEXO 1 – BANCADA DE TESTE DE INJETOR VPUD1100 SV



Technical specifications			
	VPUD 1100	VPUD 1000	VPUD 1100 SV
• For MAN slide valves	NO, valve can be damaged	YES	YES
• If PPMI 1000 is used, can then be used for MAN slide valves	YES	N/A	N/A
• Suitable for engines	Wärtsilä RND, RTA 48-96 MAN 4-stroke	MAN 2-stroke injectors incl. slide fuel valves excl. gas injectors	Conventional 4-stroke and 2-stroke injectors incl. MAN slide fuel valves
• Test procedure	<ul style="list-style-type: none"> - Injector prefill - Opening pressure test - Nozzle leakage test - Manual operation (for test of 4-stroke engines) 	<ul style="list-style-type: none"> - Injector prefill - Opening pressure test - Nozzle leakage test - O-ring sealing test - Venting /Non-return valve test 	<ul style="list-style-type: none"> - Injector prefill - Opening pressure test - Nozzle leakage test - Venting /Non-return valve test - O-ring sealing test - Manual operation (for test of 4-stroke engines)
• Pressure (bar) Output@Input	0-1100@10, 0-800@7	0-1100@10, 0-800@7	0-1100@10, 0-800@7
• Air consumption (l/min) <i>Depending on output pressure</i>	2500-4000	2500-4000	2500-4000
• Hydraulic gauge	Class 1.0	Class 1.0	Class 1.0
• Display	Class 0.2	Class 0.2	Class 0.2
• Pneumatic inlet	1/2" BSP claw clutch female	1/2" BSP claw clutch female	1/2" BSP claw clutch female
• Hydraulic Outlet	1/4" BSP male coupling	1/4" BSP male coupling	1/4" BSP male coupling
• Weight (kg)	90	90	90
• Dimension (LxWxH mm)	560 x 950 x 1525	560 x 950 x 1525	560 x 950 x 1525
• Electric Power supply	1-phase 115/230 V AC	1-phase 115/230 V AC	1-phase 115/230 V AC

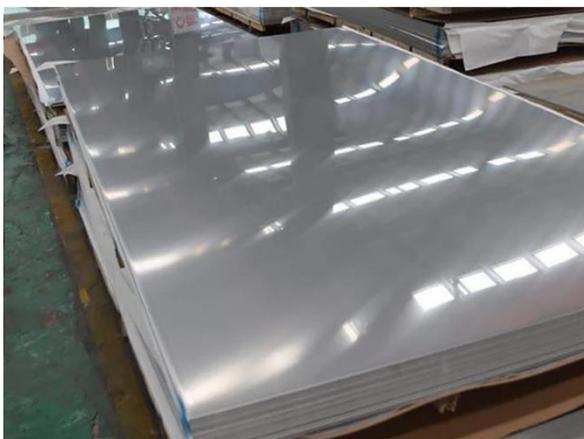
(Fonte: Adaptado de CHRIS-MARINE - Catalogue: www.chris-marine.com)

ANEXO 2 - RETIFICADORA DE BICO E SEDE DE INJECTOR GR-8000



(Fonte: Adaptado de: Fonte: www.aliexpress.com)

ANEXO 3 – MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DA BANCADA DE LIMPEZA



ANEXO 4 – DESENHO BANCADA DE LIMPEZA MELHORADA

ANEXO 5 - ENVIO DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO



Direcção Executiva CFM - Sul

SERVIÇO DE RECURSOS HUMANOS

Á

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

MAPUTO =

N/Ref.º n.º542/SRH.DA/2024

DATA: 02/04/2024

ASSUNTO: ENVIO DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Pela presente, junto se envia o relatório de estágio do estudante **Próspero Tuwapo Liphola**, do curso de Engenharia Mecânica, decorrido no período de (90) dias de 30/10/2023 a 01/02/2024 no Serviço das Oficinas Gerais- Departamento de Material Motor, da Direcção Executiva Sul.

CHEFE DO SERVIÇO DE RECURSOS HUMANOS

Fernando André Nhumalo

ANEXO 6 - FICHA DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO ESTAGIÁRIO



DIRECÇÃO EXECUTIVA SUL
SERVIÇO DE OFICINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE MATERIAL MOTOR

Início de estagio: 30/10/2023

Fim de estagio: 01/02/2024

FICHA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO ESTAGIARIO

IDENTIFICAÇÃO DO ESTAGIARIO	
Nome do Estagiário :	Prospero Tuwapo Liphola
Curso de Engenharia	Mecanica
Tema do estagio:	Engenharia Mecanica

INSTRUÇÕES DE PREENCHIMENTO DA FICHA	
Considerando a proposta, indique o nível em que coloca o estagiário no seu desempenho ao longo do estagio, relativamente aos factores por avaliar (o preenchimento da ficha far-se-à através da colocação de um circulo no nível correspondente ao desempenho demonstrado).	

Nº Ordem	Factor por Avaliar	Escala 1 2 3 4 5 6
1	Capacidade de integração nas Oficinas Gerais/Empresa	1 2 3 4 5 6
2	Capacidade de relacionamento interpessoal (Ambiente de Trabalho)	1 2 3 4 5 6
3	Capacidade de ter iniciativa no trabalho	1 2 3 4 5 6
4	Capacidade de análise e critica das situações pertinentes	1 2 3 4 5 6
5	Disponibilidade para participar nas actividades que lhe são propostas	1 2 3 4 5 6
6	Capacidade para atingir os objectivos que lhe são propostas	1 2 3 4 5 6
7	Capacidade para cumprir prazos definidos para a execução das tarefas	1 2 3 4 5 6
8	Sentido de responsabilidade no desempenho das actividades	1 2 3 4 5 6
9	Capacidade de cumprir com as regras MA/HST nas Oficinas Gerais/Empresa	1 2 3 4 5 6
10	Assiduidade	1 2 3 4 5 6
Soma de pontos		45
Classificação (Soma de pontos X1/3)		14,5

Legenda da escala

1-Mau, 2-Mediocre, 3-Suficiente, 4-Bom, 5-Muito bom e 6-Excelente

O Chefe do Sector Mecanico

(Gil Francisco Juíao Papalo, Supervisor MTD)

O chefe do Deptº Material Motor

(Erasto J. I. Mulembwe Engº Ferroviario)