

ESTUDO DE VIABILIDADE DA RECUPERAÇÃO DAS SEDES DAS VÁLVULAS DO CABEÇOTE DO CONJUNTO DE FORÇA COM INJEÇÃO ELETRÔNICA

Olegário Dias da Silva Neto

MRS Logística S/A

Giovani Miguel Milanezi

MRS Logística S/A

Manoel Ferreira Mendes

Instituto Militar de Engenharia

Laboratório para Ensino e Pesquisa de Engenharia Ferroviária

Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de viabilidade da recuperação das sedes das válvulas do cabeçote com camisa conjugada do conjunto de força de locomotivas com injeção eletrônica, através de um processo de soldagem e usinagem posterior, objetivando a redução de custos de manutenção. O recurso utilizado atualmente é a substituição do componente condenado por um novo adquirido através do fabricante e com custo muito elevado. Para realizar o estudo foi utilizado o histórico de consumo do item novo, o índice de sucateamento do subcomponente e substituição do componente, além do Preço Médio Ponderado (PMP). Cada cabeçote de aço tem quatro sedes de válvulas feitas, cujos parâmetros não são conhecidos, sendo assim, este trabalho também apresenta um estudo do metal base do cabeçote e da solda para definição do material a ser utilizado no revestimento com solda MIG/MAG através de análise físico-química realizada em laboratório.

Palavras Chaves: Sede das válvulas do cabeçote; cabeçote com camisa conjugado, sucateamento, solda da sede.

ABSTRACT

This paper presents a viability study for the the recovery of cylinder head valves seats of welded head-and-liner assemblies of locomotives with electronic injection through a welding and subsequent machining process to reduce maintenance costs. The procedure currently used is the condemned component replacement by a newly acquired from the manufacturer at very high cost. For the study we used the historical consumption of the new item, the scrapping index of the subcomponent (cylinder liner and head) and component replacement (powertrain) and the Weighted Average Price. Each steel cylinder head has four valve seats, whose parameters are not known, therefore, this work also presents the study of the cylinder head metal base and weld to define the material to be used for rehard-facing with GMAW weld through physicochemical analysis in laboratory of original components.

Key Words: Cylinder head valve seats, head-and-liner assemblies, scrapping, weld material.

1. INTRODUÇÃO

O modal ferroviário no Brasil está passando por um momento econômico instável por diversas razões, dentre elas o preço de venda baixo do minério de ferro, principal carga transportada pela ferrovia, por este e outros motivos a busca incessante por redução de custos operacionais é um dos maiores objetivos corporativos.

A MRS possui hoje aproximadamente 374 locomotivas que utilizam o conjunto de força com injeção eletrônica GE, sendo cerca de 220 AC44i, 84 C44MIL e outras 70 C36 EFI. A recuperação destes conjuntos é realizada na unidade de Recuperação de Componentes Mecânicos de Locomotivas no Horto Florestal, que vem sentindo consideravelmente a baixa demanda e estagnação do volume transportado aliados com a postergação da revisão geral das locomotivas. A recuperação que não é realizada atualmente torna-se uma opção atrativa para

utilização da capacidade ociosa da oficina.

Tabela 1: Quantidade de locomotivas com injeção eletrônica na frota MRS.

SÉRIE	QUANTIDADE
GE-C44MIL	84
GE-AC44MIL	220
GE-C36MI	19
GE-C36MIL	41
GE-C36MILZ	10

Fonte: Sislog. MRS (2015)

Além disso, cada componente adquirido com o fabricante tem seu preço relacionado a cotação do dólar, que segue forte tendência de alta, encarecendo ainda mais sua substituição

1.1. Motor Diesel

O motor diesel é o equipamento que transforma a energia química do combustível em energia mecânica através da combustão e com isso movimentar os geradores e sistemas auxiliares que ajudam a locomotiva a tracionar e transportar carga. Os motores são um dos componentes mais estudados ao longo da história em virtude da necessidade de aumentar a eficiência energética e diminuir o consumo de combustíveis fósseis, culminando na redução das emissões dos gases poluentes.

Os motores diesel das locomotivas foram projetados e desenvolvidos baseados em diversos ensaios, protótipos, muitas horas de experiência e constituídos por alguns componentes principais, sendo um deles os conjuntos de cilindros, também chamados de conjuntos de força, que são apresentados na MRS principalmente em números de 12 ou 16 cilindros em V, dependendo do tamanho do motor e é onde ocorre a explosão do combustível e transformação da energia através da movimentação dos pistões.

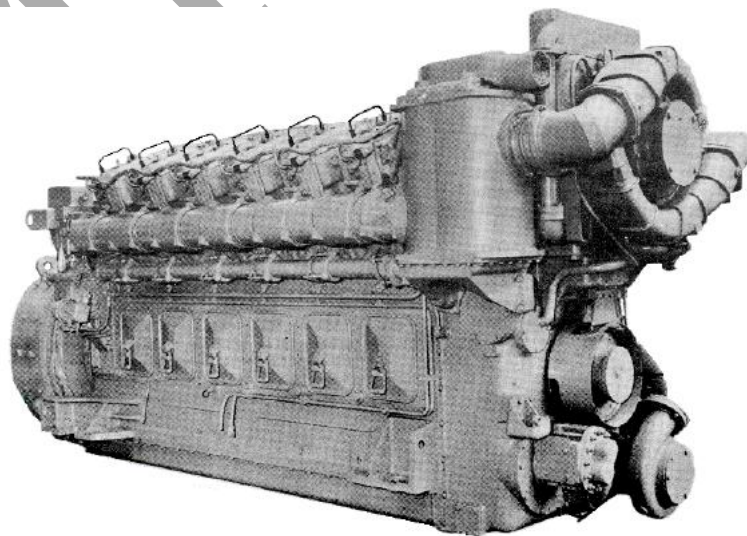


Figura 1: Motor Diesel 7FDL 12.

Fonte: Mecânica de Locomotivas Diesel (Marioza, 2012).

1.1.1. Conjunto de Força

Os conjuntos de força são compostos por diversos subcomponentes, dentre eles estão a jaqueta, a camisa e o cabeçote (fig. 2). As jaquetas dos cilindros são feitas de ferro fundido. O cabeçote de aço é soldado integralmente à camisa, mantido solidamente contra o topo da jaqueta do cilindro por meio de um anel de fixação. Assim, cerca de 99% dos conjuntos de força das locomotivas MRS com injeção eletrônica possuem esse tipo de camisa e cabeçote conjugado, ou seja, se existir algum problema no cabeçote, obrigatoriamente todo o conjunto (camisa e cabeçote) é trocado (fig. 3), independente se as camisas estiverem em condições de uso. As camisas dos cilindros são de ferro fundido centrifugado e são resfriadas à água. Estas camisas são endurecidas por meio de um processo especial de banho aplicado na parte interna, que trabalha em contato com os anéis dos pistões, que originalmente são cromados. A parte inferior da camisa é vedada na jaqueta do cilindro através de três anéis “O”. O conjunto camisa-cabeçote é instalado na jaqueta do cilindro com ajuste fixo, sem folga e é preso por meio de um anel (fig. 4).



Figura 2: Conjunto de força composto por jaqueta, camisa e cabeçote.
Fonte: Coordenação de Recuperação de Componentes de Locomotivas MRS.

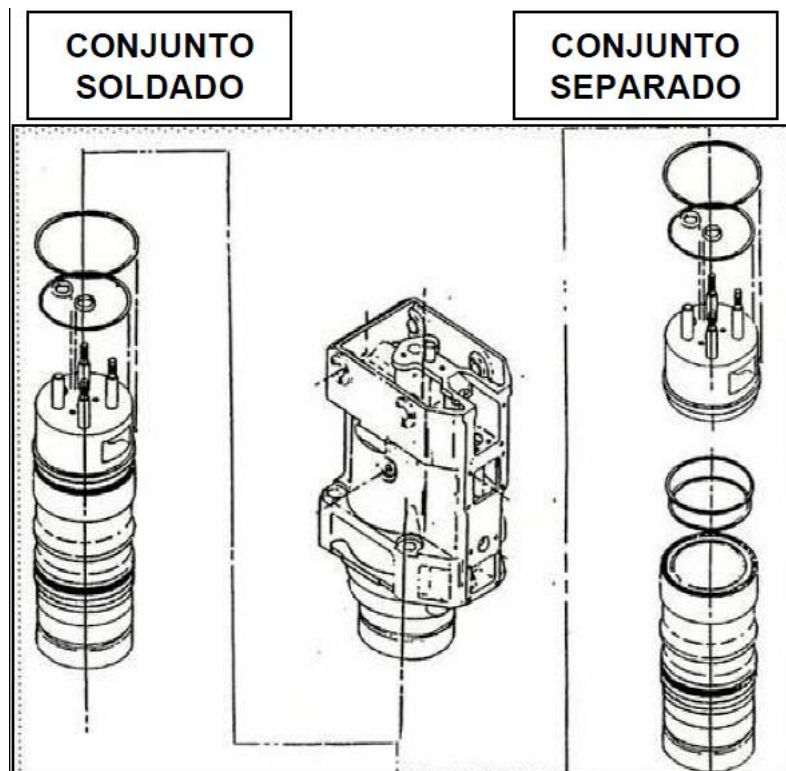


Figura 3: Conjuntos de força do motor diesel conjugado (soldado) e separado.
Fonte: Mecânica de Locomotivas Diesel (Marioza, 2012).

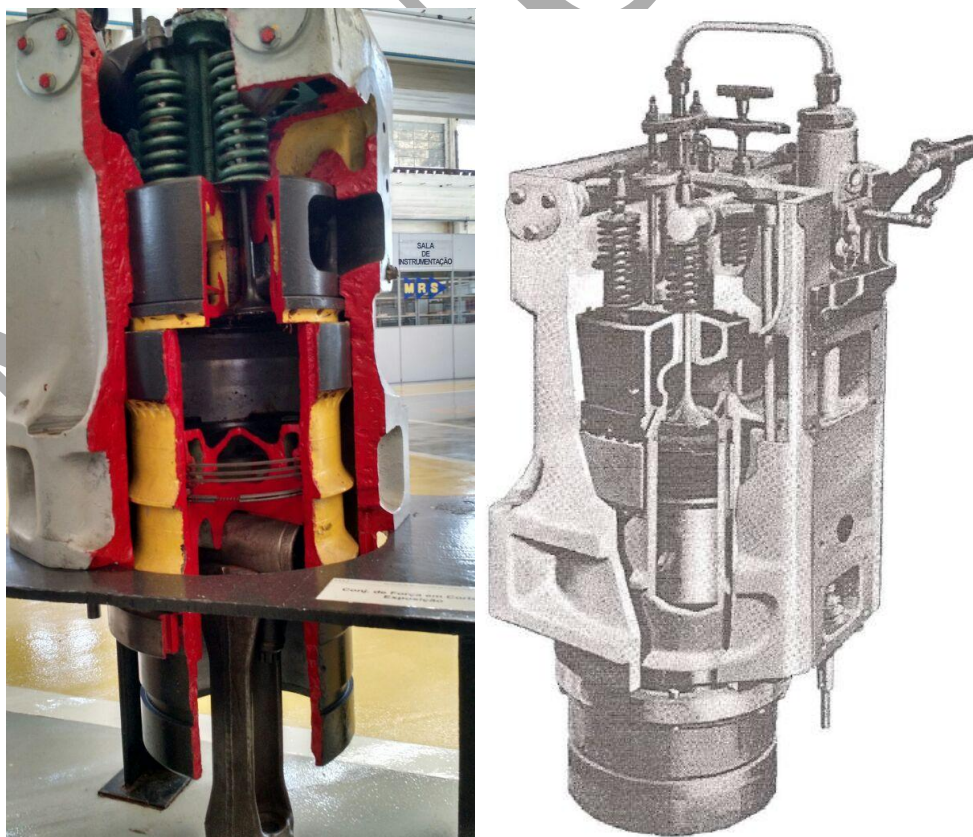


Figura 4: Conjunto de força do motor diesel em corte.
Fonte: Coordenação de Recuperação de Componentes de Locomotivas MRS.

Cada cabeçote tem quatro sedes de válvulas feitas por meio de solda de alta resistência mecânica, tratadas termicamente e retificadas, são assim para resistir aos inúmeros choques com a válvula ao longo de sua vida útil e também para suportar todo o calor que é gerado na câmara de combustão, acima de 650 graus Celsius. Estas sedes normalmente podem ser retificadas várias vezes antes de atingirem o limite de rejeição, quando, então, o cabeçote deve ser substituído. As sedes das válvulas de admissão têm uma inclinação nominal de 15 graus e as de escape, 45 graus (nominalmente). O acabamento final da sede da válvula é realizado através de uma pedra rebolo, antes que o conjunto camisa-cabeçote seja instalado na jaqueta, e para concluir o cilindro passa pelo teste hidráulico.

As sedes das válvulas de admissão e de exaustão são de aço de baixa liga e são partes integrantes dos cabeçotes. As válvulas (duas de admissão e duas de exaustão) estão dispostas, respectivamente nos lados de admissão e exaustão do cilindro. A usinagem das sedes de válvulas dos motores de combustão interna deve ser realizada com parâmetros de corte adequados para assegurar o compromisso ideal entre vida útil da ferramenta, produtividade e baixo nível de vibrações, proporcionando rugosidade superficial e desvio de circularidade mínimos, resultando em um assentamento correto das válvulas nas suas sedes. Isto é importante para garantir a correta vedação (estanqueidade) dos cilindros, evitando que o nível máximo de emissões de gases do motor seja ultrapassado (Siqueira, Lacerda, Piacesi, Junior, & Oliveira, 2007).

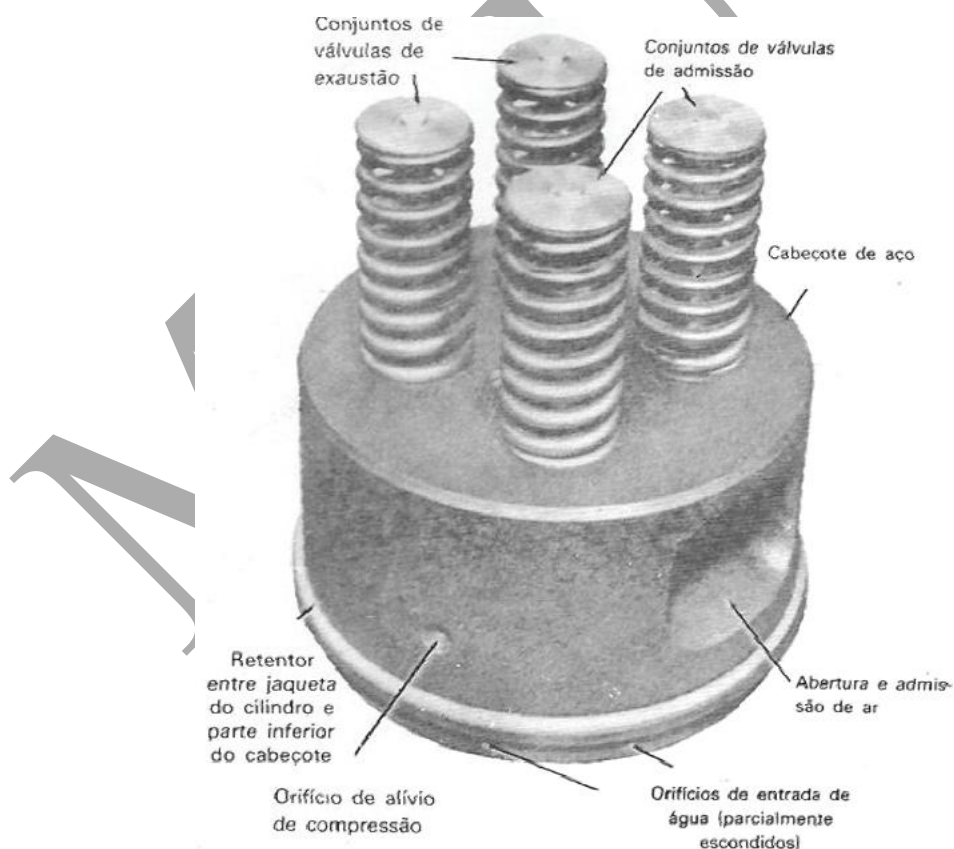


Figura 5: Conjuntos de força do motor diesel conjugado (soldado) e separado.
Fonte: Mecânica de Locomotivas Diesel (Marioza, 2012).

1.1.2. Processo de Reparação

Caso o dimensional das sedes de válvula atinja o limite de rejeito, o cabeçote deve ser reparado através de um processo que envolve a pré-usinagem, deposição de material através do processo MIG/MAG, usinagem e retifica final. A dificuldade da reparação está principalmente em ser realizada com a camisa conjugada, para isto as ferramentas construídas internamente e tocha de soldagem adquirida devem se estender em toda a profundidade da camisa, de cerca de 520 mm (fig. 6).



Figura 6: Vista interna da camisa do cilindro.

Fonte: Coordenação de Recuperação de Componentes de Locomotivas MRS.

A MRS atualmente, realiza a atividade de retífica das sedes das válvulas e a reparação do conjunto separado de injeção mecânica, cujo processo de recuperação é bastante semelhante, faltando apenas a ferramenta e tocha com extensão para trabalhar com a camisa conjugada, sendo assim, tem equipe certificada e tecnicamente capacitada para a recuperação do cabeçote de injeção eletrônica, além das máquinas necessárias de usinagem e soldagem. Sabendo-se que na alteração dos parâmetros da estratégia de manutenção de locomotivas as manutenções preventivas e desmontagens de motores diesel foram adiadas existe capacidade ociosa (pessoas e máquinas) que pode ser aproveitada. A MRS subcontrata a reparação de conjuntos conjugados de injeção eletrônica, que são obsoletos e correspondem a menos do que 1% da frota.

1.2. Solda MIG/MAG

Na soldagem GMAW (Gas-Shielded Metal Arc Welding), também conhecida como MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas), um arco elétrico é estabelecido entre a peça e um arame sólido, neste caso consumível e alimentado continuamente. O arco elétrico estabelecido, funde o arame à medida que este vai sendo depositado à peça de fusão. Na solda MIG um fluxo de gás de uma fonte externa, inerte, é utilizado para proteger o arco e a poça de fusão da contaminação da atmosfera durante a soldagem.

Os principais tipos de consumíveis utilizados na soldagem GMAW são o arame e o gás de proteção. A composição química do eletrodo, do metal base e do gás de proteção que determinarão a composição química do cordão de solda. A composição química do metal de solda e o processo de soldagem determinam as propriedades mecânicas e químicas da solda feita. Os fatores que influenciam a escolha do tipo de eletrodo e do gás de proteção são:

- Metal Base.
- Propriedades mecânicas requeridas pelo cordão de solda.
- Condição e pureza do metal base.
- Condições de trabalho do componente reparado.
- Parâmetros do processo de soldagem.

Geralmente, para união, as composições dos eletrodos são similares as encontradas no metal de base. A composição do metal de enchimento pode ser alterada suavemente de modo a compensar perdas que possam ocorrer devido ao arco de soldagem ou para levar a desoxidação do metal de solda (Alexandre Queiroz Bracarense, 2003).

2. JUSTIFICATIVA

Com o intuito de buscar o reduzir os custos com manutenção mantendo a confiabilidade dos ativos este trabalho tem o objetivo de justificar a reparação das sedes das válvulas do cabeçote do conjunto de força com injeção eletrônica GE em substituição à aquisição de conjuntos de cabeçote e camisas novos.

Para isto será apresentada a definição do material da sede das válvulas para que a reparação do cabeçote possa ser desenvolvida futuramente, com base em análise físico-química realizada em laboratório certificado, principalmente em função de não existir informações sobre o tema e os manuais do fabricante informarem apenas os processos requeridos, sem definição dos parâmetros de materiais.

Tendo em vista o consumo histórico dos conjuntos de força com injeção eletrônica, levando em conta apenas as manutenções corretivas que tem sido realizadas, temos a tabela abaixo gerada pelo Planejamento e Controle da Manutenção da MRS. Para o conjunto de camisa e cabeçote recuperado R571426012 o consumo total foi de 129 unidades em 2014 e 89 até agora em 2015.

Tabela 2: Consumo histórico do conjunto de camisa e cabeçote.

Item	Descrição	2014	2015
R571426012	CAMISA E CABEÇOTE CONJ C36 EFI	129	89

Fonte: Planejamento e Controle da Manutenção – Materiais – MRS (2015).

Já a tabela abaixo apresenta as taxas de sucateamento, através da lista de materiais (BOM - Bill Of Materials) controlada pela engenharia, esta lista estima os componentes sucateados que precisam ser substituídos por novos para reposição, dos conjuntos de força com injeção eletrônica. É possível verificar que a taxa do item camisa e cabeçote recuperado R571426012 é de 90%, logo, 10% dos itens aplicados nas locomotivas devem ser novos.

Tabela 3: Índice de sucateamento dos componentes dos conjuntos de força C36 EFI.

Item	Descrição Item	Componente	Descrição Componente	%
R572110122	CONJUNTO DE FORÇA C36 EFI	N571426015	CAMISA/CABEÇOTE C36 EFI C/VÁLV	3%
R572110122	CONJUNTO DE FORÇA C36 EFI	R571426012	CAMISA E CABEÇOTE CONJ C36 EFI	90%
R572110122	CONJUNTO DE FORÇA C36 EFI	N571426012	CAMISA/CABEÇOTE C36 EFI S/VÁLV	6%

Fonte: BOM da Engenharia de Processos de Locomotivas – MRS (2015).

Utilizando a taxa de sucateamento de 10% para o item camisa e cabeçote do conjunto de força com injeção eletrônica e o consumo histórico dos últimos meses, levando em consideração que não são realizadas as revisões gerais nos motores diesel das locomotivas é possível verificar o consumo total de 19 itens novos, passíveis de economia através da reparação do cabeçote.

O estoque de conjuntos de camisa e cabeçote com potencial de recuperação no almoxarifado da MRS é de 159 unidades, outras 15 unidades são de componentes novos.

Tabela 4: Quantidade de itens em estoque.

Componente	Descrição Componente	Qtde
R571426012	CAMISA E CABEÇOTE CONJ C36 EFI	159
N571426012	CAMISA/CABEÇOTE C36 EFI S/VÁLV	15

Fonte: Oracle ERP – MRS (2015).

3. METODOLOGIA

3.1. Análise Econômica

A análise economia levará em consideração as ferramentas desenvolvidas e controladas pelo Planejamento e Controle da Manutenção – Materiais da MRS para informar o histórico de consumo e custo médio de reparação ou preço médio ponderado (PMP).

O preço médio ponderado representa o custo a ser contabilizado por meio de uma média dos custos de reparação ao longo de um período de tempo móvel, a MRS adota o período dos doze meses anteriores, ele representa as despesas que variam de acordo com a produção, sendo assim, o valor se altera com a compra ou produção de outras unidades de preço diferente, fazendo parte a aquisição de novos componentes, matéria prima, mão de obra e custos com equipamentos.

Para avaliação do PMP do conjunto de camisa e cabeçote conjugado é apresentada a tabela abaixo referente aos últimos três meses do ano de 2015 resultando no valor de R\$11.456,13 para o item N571426011.

Tabela 5: PMP dos conjuntos de camisa e cabeçote de injeção eletrônica.

Item	Descrição	mai/15	jun/15	jul/15
N571426013	CAMISA E CABEÇOTE CONJUGADOS M	R\$ 7.549,29	R\$ 7.549,29	R\$ 7.549,29
N571426012	CAMISA/CABEÇOTE C36 EFI S/VÁLV	R\$ 9.347,80	R\$ 9.347,80	R\$ 9.347,80
N571426011	CAMISA/CABEÇOTE MELONITE C/VÁL	R\$ 11.456,13	R\$ 11.456,13	R\$ 11.456,13

Fonte: Planejamento e Controle da Manutenção – Materiais - MRS

Considerando o total de 19 conjuntos de camisa e cabeçote de conjunto de força com injeção eletrônica com o preço novo de R\$11.456,13 conclui-se que o custo total de fornecimento destes componentes pela MRS nos anos de 2014 até agora foi de R\$217.666,47.

Baseando-se na recuperação externa com empresa contratada do conjunto conjugado com injeção eletrônica é possível estimar o custo de reparação em cerca de 25% do valor do cabeçote novo, assim o valor unitário é de cerca de R\$2.864,03, então o valor total seria de R\$54.416,57, assim, verificamos que a diferença é de R\$163.249,90, valor que a MRS poderia economizar.

3.2. Análise do Material da Sede das Válvulas

Para análise do material da sede das válvulas do cabeçote foi realizada a análise físico-química na região de ZTA entre o metal base e a solda de dois cabeçote originais serializados através dos códigos ES981210404 e EG98110764. Estes cabeçotes foram separados das camisas nas uniões (fig. 2), e cortados novamente na transversal para possibilitar a análise do material.



Figura 7: Cabeçote separado da camisa.

Fonte: Coordenação de Recuperação de Componentes de Locomotivas MRS



Figura 8: Peças dos cabeçotes cortados na transversal.

Fonte: Coordenação de Recuperação de Componentes de Locomotivas MRS

O laboratório identificou as 3 peças enviadas para análise com os códigos MIB-15-0285 e MIB-15-0286 para o cabeçote ES981210404, cujas sedes são das válvulas de exaustão, e MIB-15-0287 para o cabeçote EG98110764, cuja sede é da válvula de admissão (fig. 3).

Foram realizadas análises química de espectrometria de emissão óptica por centelhamento e micrografia óptica, além de teste de dureza Vickers com carga de 1000gf conforme norma ASTM E384-11e1 e Rockwell B, conforme norma ASTM E18-14.

Os resultados encontrados foram:

Tabela 6: Análise química (% em peso) do metal base.

Amostra	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Nb	Al	Cu	W	Fe
MIB-15-0285	0,15	0,44	1,31	0,013	0,005	0,30	0,06	0,23	0,004	0,001	0,002	0,006	0,05	ND	Bal
MIB-15-0286	0,16	0,44	1,30	0,009	0,006	0,30	0,06	0,22	0,003	0,001	0,002	0,007	0,04	ND	Bal
MIB-15-0287	0,15	0,50	1,31	0,014	0,004	0,16	0,05	0,22	0,002	0,001	0,001	0,006	0,04	ND	Bal
ASTM A487 – Grade 2	0,30 max	0,80 max	1,00-1,40 max	0,04 max	0,045 max	0,35* max	0,50* max	0,10-0,30 max	0,03* max	NE	NE	NE	0,50* max	0,10* max	

NE – Não especificado , ND – Não detectado

*Cr+Ni+Cu+W+V < 1,00%

Fonte: Relatório N° MIB 0175-15 Rev1

Conforme verificado, o metal base apresentou características próximas ao material ASTM A487-Grade 2.

Tabela 7: Análise química via EDX (% em peso) do material de solda.

Amostra	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
MIB-15-0285	0,54	1,42	0,24	ND	0,40
MIB-15-0286	0,55	1,45	0,28	ND	0,16
MIB-15-0287	0,48	1,41	0,16	ND	0,21

Fonte: Relatório N° MIB 0175-15 Rev1

O material de solda apresentou níveis de elementos similares ao material base, também próximas ao ASTM A487-Grade 2.

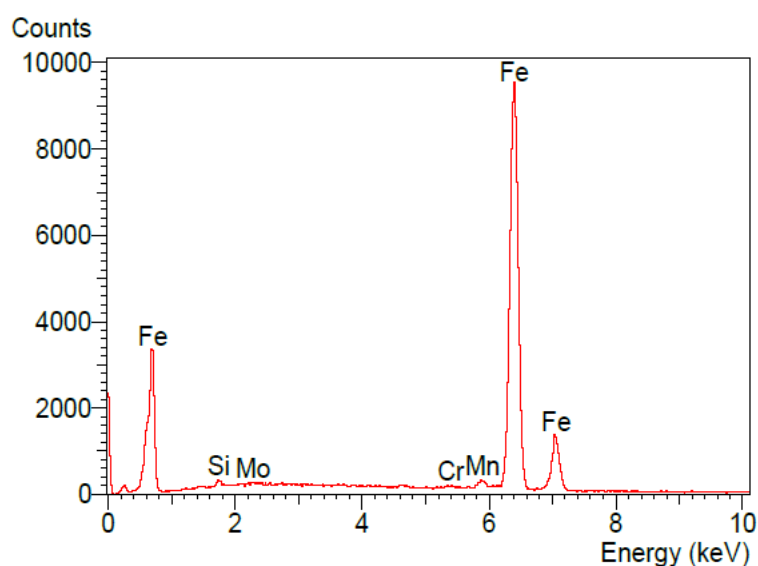


Figura 9: Espectro típico de EDX da região de solda.

Fonte: Relatório N° MIB 0175-15 Rev1

Tabela 8: Análise química via EDX (% em peso) do material de solda.

Amostra	Local	Medidas (HRB)					Média (HRB)
MIB-15-0285	Material Base	94	94	94	95	95	94,4
MIB-15-0286		95	96	97	94	96	95,6
MIB-15-0287		93	93	93	93	93	93,0

Fonte: Relatório N° MIB 0175-15 Rev1

O metal base apresentou dureza média na faixa de 93,0 a 95,6 Rockwell B, sendo considerada muito elevada

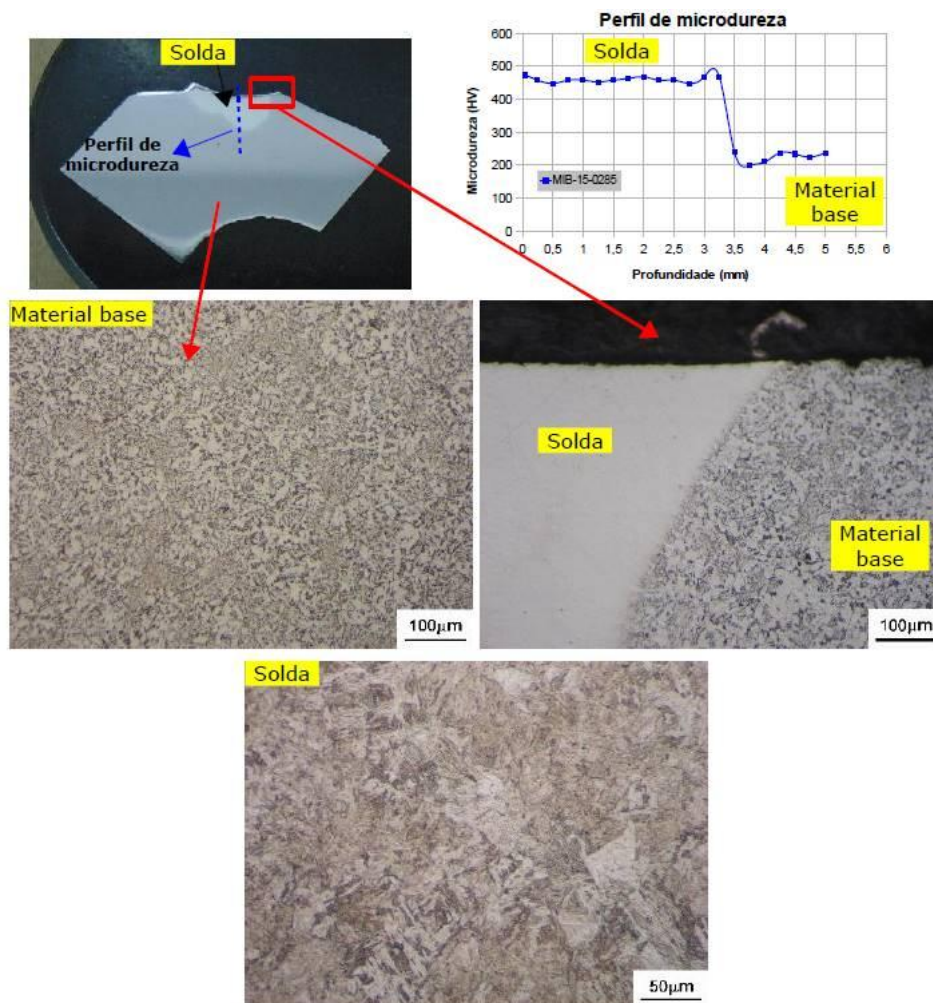


Figura 10: Análise micrográfrica óptica e perfil de microdureza da amostra MIB-15-0285.

Fonte: Relatório N° MIB 0175-15 Rev1

As análises micrográficas das amostras mostram uma microestrutura de ferrita, perlita e bainita granular para o material base. A interface com a região da solda é bem definida, com uma transição abrupta de dureza, conforme evidenciado pelos perfis de microdureza. As micrografias ópticas das regiões de solda, após ao taque químico, indicam uma microestrutura predominantemente martensítica. As outras amostras apresentaram características bastante semelhantes a esta na análise micrográfrica.

Com base nestes testes fica definido que o eletrodo comercial a ser utilizado para o desenvolvimento do processo de reparação da sede da válvula do cabeçote é AristoRod 13.08, cujas características ficam próximas do material da solda em relação a resistência mecânica, dureza e resistência ao calor da câmara de combustão. O AristoRod é um arame sólido não cobrado para soldagem, pelo processo GMAW (MIG/MAG), de aço baixa liga ligados ao manganês e ao molibdênio (1,5%Mn, 0,4%Mo).

Tabela 8: Especificação do eletrodo Aristorod 13.08.

ARISTOROD 13.08	
CLASSIFICAÇÕES	
AWS/ASME SFA 5.28	ER80S-D2
EN ISO 14341-A	G 4Mo
COMPOSIÇÃO QUÍMICA	
ELEMENTO	PARTICIPAÇÃO
C	0,09%
Si	0,65%
Mn	1,9%
P	0,025%
Si	0,025%
Ni	<0,15%
Mo	0,50%
Cu	0,15%
Nb+Ta	<0,50%
LIMITE DE ESCOAMENTO	540MPa
LIMITE DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO	645MPa

Fonte: ESAB (2015).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados, verificamos que a economia gerada pela reparação interna do cabeçote é de cerca de R\$163.249,90, sem ter gastos adicionais com máquinas, tendo pessoal tecnicamente capacitado e com relativa ociosidade, sendo assim concluímos que é válido o esforço necessário para a conclusão do desenvolvimento do processo de recuperação das sedes das válvulas, com um custo de implantação muito baixo, considerando ainda o cenário econômico desfavorável e tendência de aumento do dólar que encarece a compra de componentes novos, mesmo com a prorrogação da revisão geral das locomotivas com injeção eletrônica.

Diante do exposto da quantidade de conjuntos de camisa e cabeçote a recuperar estocados no almoxarifado da MRS, 159 itens, não haveria praticamente nenhuma necessidade de aquisição de componentes novos nos próximos anos com a recuperação interna destes itens conforme demanda prevista de manutenção e sucateamento.

Somando-se a isto, o eletrodo AristoRod 13.08 é teoricamente, após análises dos materiais do cabeçote, indicado para o processo descrito, necessitando de maiores testes experimentais para ter sua confiabilidade garantida, tornando-se uma opção viável para o processo de reparação das sedes das válvulas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandre Queiroz Bracarense, P. (2003). *http://www.infosolda.com.br/*. Fonte: Infosolda - O Portal Brasileiro da Soldagem: *http://www.infosolda.com.br/artigos/processos-de-soldagem/423-gas-metal-arc-welding.html*
- Marioza, O. M. (2012). *Mecânica de Locomotivas Diesel*. Brasil.
- Siqueira, I. L., Lacerda, H. B., Piacesi, R. A., Junior, W. S., & Oliveira, F. A. (2007). Estudo da Usinagem das Sedes de Válvulas de Admissão de Motores de Combustão Interna. *17º Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica*, p. 12.