

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**CARACTERIZAÇÃO DE UM EIXO DE TRANSMISSÃO, COM
ENSAIOS MICROESTRUTURAL, MECÂNICO E CONTROLE
DIMENSIONAL.**

JOSÉ LUIZ MOREIRA DA COSTA

**Pindamonhangaba - SP
2023**

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**CARACTERIZAÇÃO DE UM EIXO DE TRANSMISSÃO, COM
ENSAIOS MICROESTRUTURAL, MECÂNICO E CONTROLE
DIMENSIONAL.**

JOSÉ LUIZ MOREIRA DA COSTA

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba para
graduação no Curso Superior de Tecnologia
em Mecânica: Processos de Soldagem

Orientador: Prof. Me. Marcelo Bergamini de
Carvalho

**Pindamonhangaba - SP
2023**

Da Costa, José Luiz Moreira

Caracterização de um eixo de transmissão, com ensaios microestrutural, mecânico e controle dimensional. / José Luiz Moreira da Costa / FATEC Pindamonhangaba, 2023. x,58f.: il.; 30 cm.

Orientador Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2023

1. Ensaio Não Destrutivos 2. Embutimento a quente
3. Ensaio de Dureza. 4. Líquido Penetrante I. De Carvalho, Marcelo Bergamini.

CDU 620.193

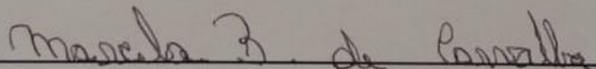
Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

“CARACTERIZAÇÃO DE UM EIXO DE TRANSMISSÃO, COM ENSAIOS MICROESTRUTURAL, MECÂNICO E CONTROLE DIMENSIONAL”.

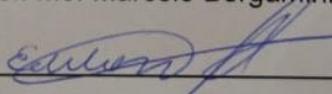
José Luiz Moreira da Costa

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, para graduação no Curso Superior de Tecnologia em Mecânica: Processos de Soldagem.

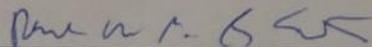
Comissão Examinadora



Orientador – Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho



Membro – Prof. Dr. Edilon de Oliveira França



Membro – Tecnol. Rener Washington Mariano dos Santos

Pindamonhangaba, 11 de dezembro de 2023.

DEDICATÓRIA

Ao professor e amigo Mestre Marcelo Bergamini de Carvalho. A Coordenação da Fatec de Pindamonhangaba, juntamente com os professores do curso e ao corpo diretivo da unidade de ensino. Dedico também aos funcionários da Faculdade, que sempre atenderam com respeito e presteza. Finalizando, dedico a Deus e a minha família, por mais esta etapa concluída em minha vida.

AGRADECIMENTO

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Aos meus pais Luiz e Maria Helena, que proporcionaram os ensinamentos e valores, para a minha luta, para a conclusão desta faculdade. Ao meu irmão João Paulo, pela amizade. Agradeço também minha cunhada Juliana, pelo respeito e empatia.

Ao professor Marcelo Bergamini de Carvalho, pelo inestimável apoio na orientação deste trabalho.

Aos colegas de classe, com quem nesses anos de estudo, tive a felicidade de conviver, fortalecendo o aprendizado e estreitando as relações interpessoais.

A todos que passaram na minha vida, que de forma direta ou indireta, me tornaram o ser humano que sou hoje.

Agradeço a Deus, por ter me dado força, resiliência e ter me ajudado a concluir esta etapa da minha vida.

Ninguém vai bater tão forte como a vida, mas a questão não é o quão forte você consegue bater. É o quão forte você consegue apanhar e continuar seguindo em frente. É o quanto você consegue aguentar e continuar seguindo em frente. A vitória é feita assim. A vida já é difícil normalmente, mas, em alguns momentos, ela pode até te derrubar. No entanto, é preciso levantar sempre.

Rocky Balboa (Silvester Stallone)

COSTA, MOREIRA, J. L. M. **Caracterização de um eixo de transmissão, com ensaios microestrutural, mecânico e controle dimensional.** 2023. 58p. Trabalho de Graduação (Curso de Mecânica: Processos de Soldagem). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2023.

RESUMO

O eixo de Transmissão do motor de um carro, geralmente é confeccionado em aço carbono de médio ou alto teor de carbono, ou em Ferro fundido, devido as propriedades mecânicas destes materiais. Estes materiais apresentam uma alta resistência ao torque, boa capacidade trabalho, oferecendo resistência ao desgaste, além de propriedades de terem boa resistência a corrosão (no caso deste item, corrosão devido ao contato de água e óleo). É sabido, que estes materiais podem ser determinados a sua composição química, ou mesmo sua identificação, por meio de vários ensaios mecânicos laboratoriais, como por exemplo, metalografia, ensaio de dureza, verificação de composição química via espectrômetro. Além disso, por ser um eixo que passou por 04 anos de trabalho, para depois ser efetuado a troca do componente, é possível verificar seu desgaste de trabalho, suas condições atuais, por meio de ensaios não destrutivos, como por exemplo líquido penetrante (lavável a água e fluorescente), além de inspeção visual e controle dimensional. A Faculdade de tecnologia de Pindamonhangaba, possui excelentes condições para que estes ensaios sejam executados, além de que, a formação do curso superior de Tecnologia em Mecânica: Processos de Soldagem, tem como finalidade, formar um profissional apto, para executar todos estes ensaios e também interpretação dos resultados dos mesmos. Portanto, o objetivo geral desta pesquisa, foi aplicar estes conhecimentos adquiridos ao longo do curso, para determinação exata, de qual material, foi fabricado o eixo do comando do cabeçote do motor, emitindo os resultados de todos estes ensaios, citados anteriormente. Todos os ensaios citados neste resumo, foram executados conforme orientação técnica do orientador do trabalho de graduação, além do auxílio dos Auxiliares de Docentes, que têm o conhecimento prático dos laboratórios. Após a execução de todos os ensaios forma interpretados os resultados, podendo afirmar que o componente mecânico em questão estudado, pode afirmar que o material usado na fabricação foi o ferro fundido. Nesta monografia procurou-se agregar informações, mostrando se que o aprendizado teórico, somado com as práticas laboratoriais, são de suma importância, visto que é um trabalho totalmente prático, executado em 90º executado nos laboratórios da própria faculdade. Este trabalho também visa agregar um auxílio aos alunos do Curso de Mecânica: processos de Soldagem, para que possam efetuar trabalhos práticos, visto que o Tecnólogo é um profissional que atua tanto na gestão do processo, podendo também atuar de forma operacional, devido ao conhecimento da execução prática dos ensaios mecânicos, realizados nesta monografia.

Palavras-chave: Eixo de Transmissão. Inspeção. Ensaio não destrutivo. Controle Dimensional. Ensaio de Dureza Rockwell.

COSTA, J. L. M. Characterization of a drive shaft, with microstructural, mechanical and dimensional control tests. 2023. 58p. Graduation in Mechanical Technology: Welding Processes. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba/SP. Pindamonhangaba / 2023.

ABSTRACT

The camshaft of the head of the engine of a car is usually made of carbon steel of medium or high carbon content, or cast iron, due to the mechanical properties of these materials. These materials have a high resistance to torque, good working capacity, offering wear resistance, as well as properties of having good corrosion resistance (in the case of this item, corrosion due to the contact of water and oil). It is known that these materials can be determined their chemical composition, or even their identification, by means of various laboratory mechanical tests, such as metallography, hardness test, verification of chemical composition via spectrometer. In addition, because it is a shaft that has gone through 04 years of work, to then be made the change of the component, it is possible to verify its work wear, its current conditions, by means of non-destructive tests, such as penetrating liquid (water-washable and fluorescent), as well as visual inspection and dimensional control. The Faculty of Technology of Pindamonhangaba has excellent conditions for these tests to be performed, in addition to that, the training of the higher course of Technology in Mechanics: Welding Processes aims to train a professional able, to perform all these tests and also interpretation of the results of the same. Therefore, the general objective of this research was to apply this knowledge acquired throughout the course, for exact determination, of which material, was manufactured the shaft of the command of the engine head, emitting the results of all these tests, mentioned above. All the essays mentioned in this abstract were performed according to the technical guidance of the supervisor of the undergraduate work, in addition to the help of the Teaching Assistants, who have the practical knowledge of the laboratories. After the execution of all the tests form interpreted the results, being able to affirm that the mechanical component in question studied, can affirm that the material used in the manufacture was the cast iron. In this monograph we tried to add information, showing that theoretical learning, added to laboratory practices, are of paramount importance, since it is a totally practical work, performed in 90° executed in the laboratories of the college itself. This work also aims to add an aid to the students of the Mechanics Course: Welding processes, so that they can perform practical work, since the Technologist is a professional who acts both in the management of the process, and can also act in an operational way, due to the knowledge of the practical execution of the mechanical tests, carried out in this monograph.

Keywords: Transmission Shaft. Inspection. Non-destructive testing. Dimensional Control. Essay by Hardness Rockwell.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Tabela de aços, para fabricação de eixos (Aço Carbono e aço liga), conforme Norma DIN 1611	19
Tabela 02 – Tabela de Escala de Dureza Rockwell.....	29
Tabela 03– Tabela de Composição Química da Amostra.....	34
Tabela 04 – Tabela de dimensões do eixo do Comando (Diâmetros)	41
Tabela 05– Medidas de Dureza em HRA (Hard Rockwell A)	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA	16
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo GERAL	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 EIXO DE TRANSMISSÃO (DEFINIÇÃO)	17
2.2 CONTROLE DIMENSIONAL	19
..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
2.3 MATERIAL DE FABRICAÇÃO DO EIXO DE TRANSMISSÃO	21
.....	22
2.4 CONCEITO DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS	23
2.4.1 LÍQUIDO PENETRANTE SOLÚVEL A ÁGUA, FLUORESCENTE E ENSAIO DE DUREZA	23
.....	25
.....	26
.....	27
.....	28
2.5 CONCEITO DE METALOGRAFIA.....	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 – INSPEÇÃO VISUAL (LABORATÓRIO DE END)	31
3.2 – CONTROLE DIMENSIONAL (LABORATÓRIO DE END)	33
3.3 – INSPEÇÃO POR LÍQUIDO PENETRANTE (LABORATÓRIO DE END)	33
3.4 – CORTES DAS AMOSTRAS PARA ENSAIO DE METALOGRAFIA E ENSAIO DE DUREZA (LABORATÓRIO DE METALOGRAFIA).....	33
.....	34
.....	36
3.5 –ENSAIO DE DUREZA (ENSAIOS MECÂNICOS).....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
.....	41
.....	41
.....	41
FIGURA 35 APLICAÇÃO DO L.P (FLUORESCENTE)	48
.....	54
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE – O QUE É UM APÊNDICE EM MONOGRAFIA.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
ANEXO A – O QUE SÃO ANEXOS?.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

1. INTRODUÇÃO

O eixo de Transmissão é o componente responsável pela rotação das engrenagens e conversão da velocidade do motor em torque. Este processo permite que a potência do motor seja transferida, impulsionando o mecanismo de transmissão como um todo, convertendo em torque, fornecendo uma força motriz, necessária para alimentação do sistema ou equipamento. Quando o eixo é montado com engrenagens e polias, recebe o nome de árvore (HYPOYDE, 2023).

Os aços-carbono, de baixo e médio teor, são, muito usados na fabricação de eixos e árvores. Aços muito empregados são os seguintes: SAE 1015, 1020, 1025, 1030, 1040, 1045, 2340, 2345, 3115, 3120, 3135, 3140, 4023, 4063, 4140, 4340, 4615, 4620 e 5140 (SOBRATEMA,2023).

A inspeção e caracterização de um eixo de transmissão, pode ser feita por meio de ensaios mecânicos (ensaios destrutivos ou não destrutivos), inspeção visual, controle dimensional ou caracterização do material do mesmo, por meio de Metalográfica (Askeland,2019).

Ensaio Mecânicos são um conjunto de testes que possibilitam expor o material a condições semelhantes à de trabalho e, com isso, medir propriedades que determinarão as características de uma peça. Os ensaios mecânicos podem ser classificados em destrutivos e não destrutivos. Os ensaios destrutivos causam danos nas amostras em análise. Já os ensaios não destrutivos, não danificam as amostras, durante as análises (UFV-Viçosa/ MG, 2023).

Entre os ensaios mecânicos, existe o ensaio de dureza, no qual através da aplicação de carga em um material, por meio de um penetrador (esfera ou cone), é possível determinar a resistência a penetração do material em sua superfície. É possível, por meio de tabelas, obter uma correlação aproximada entre os métodos de determinação de dureza que são Brinell, Rockwell e Vickers e os valores de limite a resistência de tração (CARLOS, 2023).

Entre os ensaios não destrutivos, um dos mais utilizados é o de líquido penetrante (Solúvel a água ou solvente), que tem a finalidade de observar não conformidades na superfície do material. Este Ensaio, no que se refere a visualização dos defeitos, normalmente é utilizado luz normal ou fluorescente (MAGNAFLUX,

2023). A forma de realizar esse ensaio é simples, onde consiste na aplicação de um penetrante (coloração vermelha) na superfície da peça a ser ensaiada, obedecendo o tempo de penetração (no mínimo 10 a 15 minutos). Na sequência, o mesmo é removido com água ou solvente, é feito a secagem da peça, com ar frio ou naturalmente (MAGNAFLUX, 2023). Na etapa seguinte, é aplicado um revelador não aquoso, que pelo efeito da capilaridade, tende a criar um contraste na não conformidade (trincas, poros e outros defeitos). A leitura do ensaio de L.P (Líquido Penetrante), se dá por meio de luz normal ou luz ultravioleta (fluorescente), com auxílio de lupa, procedimento aplicável a inspeção, seguido de relatório final de inspeção, com laudo do inspetor responsável (MAGNAFLUX, 2023).

Outra caracterização que pode ser realizada no eixo de transmissão, visando saber a composição do material do eixo, pode ser feita por Metalografia. Esta caracterização, pode ser definida, como o estudo das características estruturais ou da constituição dos metais e suas ligas, para relacioná-los com suas propriedades físicas, químicas ou mecânicas (ASKELAND,2019). Para a realização da análise, o plano de interesse da amostra é cortado, lixado, polido e atacado com reagente químico, de modo a revelar as interfaces entre os diferentes constituintes que compõe o metal. Quanto ao tipo de observação, o ensaio metalográfico está subdividido basicamente em duas classes: Microscópica e Macroscópica (ASKELAND,2019).

A microscópica é feita com auxílio de um microscópio metalográfico, no qual os aumentos normalmente são 50x, 100x, 200x, 500x, 1000x, 1500x e 2500x. Já a macroscópica, análise é feita a olho nu, com lupa ou com utilização de um microscópio estéreo, com aumentos de 5x a 64 x. através dessas análises (micro ou macro), é possível a determinação de diversas características do material, inclusive a determinação das causas de fraturas, desgastes prematuros e outros tipos de falhas (ASKELAND,2019). Finalmente, podemos garantir a caracterização do eixo de transmissão, por meio de controle dimensional. Controle dimensional é um método capaz de verificar de modo eficiente, as características dimensionais de peças, subconjuntos ou equipamentos, de modo a assegurar a montagem, bom funcionamento, manutenção e intercambio de peças e componentes. Esta conferência de dimensões se dá por meio de instrumentos de medição como Paquímetros, escalas, goniômetros e interpretação do desenho técnico mecânico (SOBRATEMA, 2023).

1.1 PROBLEMA

Como podemos garantir que um eixo de transmissão, está com o seu material de fabricação correto e se o mesmo, apresenta dimensionamento correto, atendendo todas as especificações, para que ele execute sua função, em totais condições?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Garantir a qualidade e eficiência do eixo de transmissão, observando vários pontos de fabricação, como controle dimensional, inspeção visual, determinação do material de fabricação e suas características, por meio de metalografia e ensaio de dureza.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os Objetivos específico desse trabalho foram:

- Medição do eixo de transmissão, verificando se suas dimensões estão corretas de acordo com desenho técnico mecânico;
- Inspeção visual, para análise da conformidade do eixo;
- Ensaio de líquido penetrante, para verificação de defeitos superficiais na peça;
- Corte de uma amostra do eixo, para medição de dureza Rockwell;
- Ensaio no laboratório de metalografia, visando detectar de qual o material, foi fabricado o mesmo (aço ou ferro fundido).

1.3 JUSTIFICATIVA

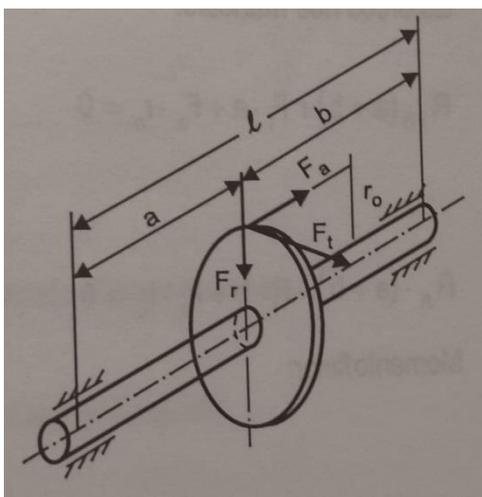
Este trabalho se justifica, pelo fato que por meio dele, terá uma análise profunda e criteriosa, do eixo de transmissão. Uma inspeção como essa, envolve vários itens de observação, podendo assegurar que a peça foi fabricada com material adequado, respeitando suas dimensões conforme desenho, não apresenta defeitos superficiais críticos. Identificando o material de fabricação desse elemento de máquina, pode-se determinar suas características, garantindo a vida útil do mesmo, evitando possíveis surpresas de falhas, além de garantir a qualidade e eficiência do eixo de transmissão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EIXO DE TRANSMISSÃO (DEFINIÇÃO)

Conforme definição de Sarkis Mellconian (2009), os eixos são elementos de construção mecânica, que se destinam a suportar outros elementos de construção como por exemplo as polias, rolamentos, engrenagens, rolamentos, rodas de atritos entre outros, com a finalidade de transmitir movimento. Os eixos são classificados em dois tipos: eixos de trabalhos fixos ilustrado na Figura 1 e eixos árvore demonstrado na Figura 2. Os eixos árvores são os eixos que trabalham em movimento

Figura 1 Eixo Fixo



Fonte: Sarkis Melconiam (2009)

Eixos árvores trabalham em movimento. Exemplo: Eixos que compõem a caixa de mudanças de um veículo, conforme figura 02:

Figura 2 Eixo árvore de transmissão de uma Lambreta



Fonte: Sarkis Melconiam (2009)

De acordo com Sarkis (2009) os eixos com diâmetros menores que 150 mm, podem ser fabricados por meio de usinagem (torneados) ou trefilados a frio. Os materiais mais indicados para fabricação, são os aços carbonos ou aços ligas, conforme tabela 01.

Tabela 1 Tabela de aços, para fabricação de eixos (Aço Carbono e aço liga), conforme Norma DIN 1611

Aço - Carbono		
DIN	Composição (Teores Médios %)	ABNT
St 42,11	C 0,25 Si 0,2 Mn 0,6	1025
St 50,11	C 0,35 Si 0,2 Mn 0,7	1035
St 60,11	C 0,45 Si 0,2 Mn 0,8	1045
St 70,11	C 0,50 Mn 0,8	1060
Aço - Liga		
DIN	Composição (Teores Médios %)	ABNT
20 Mn Cr ₄	C 0,2 Mo 0,5 Cr0,4	4120
25 Mo Cr ₄	C 0,3 Mo 0,5	4130
50 CrV ₄	C 0,5 Si 0,3 Mn 0,9 Cr V0,2	6150

Fonte: Sarkis Melconian (2009)

Tabela 2 Designação de Aço SAE (Classificação e Siglas)

Designação SAE	Tipo
1xxx	Aço carbono
2xxx	Aço níquel
3xxx	Aço níquel-cromo
4xxx	Aço molibdênio
5xxx	Aço cromo
6xxx	Aço cromo-vanádio
7xxx	Aço tungstênio
8xxx	Aço níquel-cromo-molibdênio
9xxx	Aço silício-manganês

Fonte: Aços Nobre (2023)

2.2 CONTROLE DIMENSIONAL

Um eixo de transmissão, necessita ser fabricado conforme normas e dimensões exatas ou dentro das tolerâncias, especificada e determinado no desenho da peça, ou no projeto mecânico da mesma. Nesse caso, o Controle dimensional é de grande importância, para verificação do componente em questão (eixo de transmissão (SOBRATEMA,2023)). Segundo site da Instrumentação Industrial (2023) controle dimensional é uma técnica utilizada para aferição das medidas exatas de peças, subconjuntos e equipamentos complementares, neste caso do estudo, um componente mecânico.

Esta técnica, está inserida na metrologia dimensional , ou seja, metrologia é o estudo geral dessa área. Metrologia vem do grego, que significa “metron” e “logos”, que significa o estudo da medição. A Metrologia abrange os aspectos experimentais

e teóricos da medição, determinação dos níveis de incerteza desses aspectos e verificação de tolerâncias dimensionais, conforme normas estabelecidas no desenho mecânico (SOBRATEMA,2023). O estudo da medição, é um requisito básico em qualquer campo da ciência e da tecnologia, principalmente no campo da engenharia e no campo das indústrias mecânicas. Alguns dos instrumentos, que serão utilizados nesse experimento serão: escala metálica que está ilustrada na Figura 3 e trena (medição do Comprimento) para medições mais grosseiras.

Figura 3 Escala Metálica



Fonte: Do autor (2023)

Para medições que requer mais precisão de decimo ou centésimo de milímetro é utilizado o instrumento Paquímetro ilustrado na Figura 04 (medição de diâmetro, rebaixos e demais dimensões) e já quando a medição tem a precisão de milésimo de milímetro, é utilizado o instrumento micrometro externo Ilustrado na Figura 5 (para conferência dos diâmetros). O desenho do eixo de transmissão, pode ser executado no programa ONSHAPE (SOBRATEMA,2023).

Figura 4 Paquímetro 0,05 mm



Fonte: Do autor (2023)

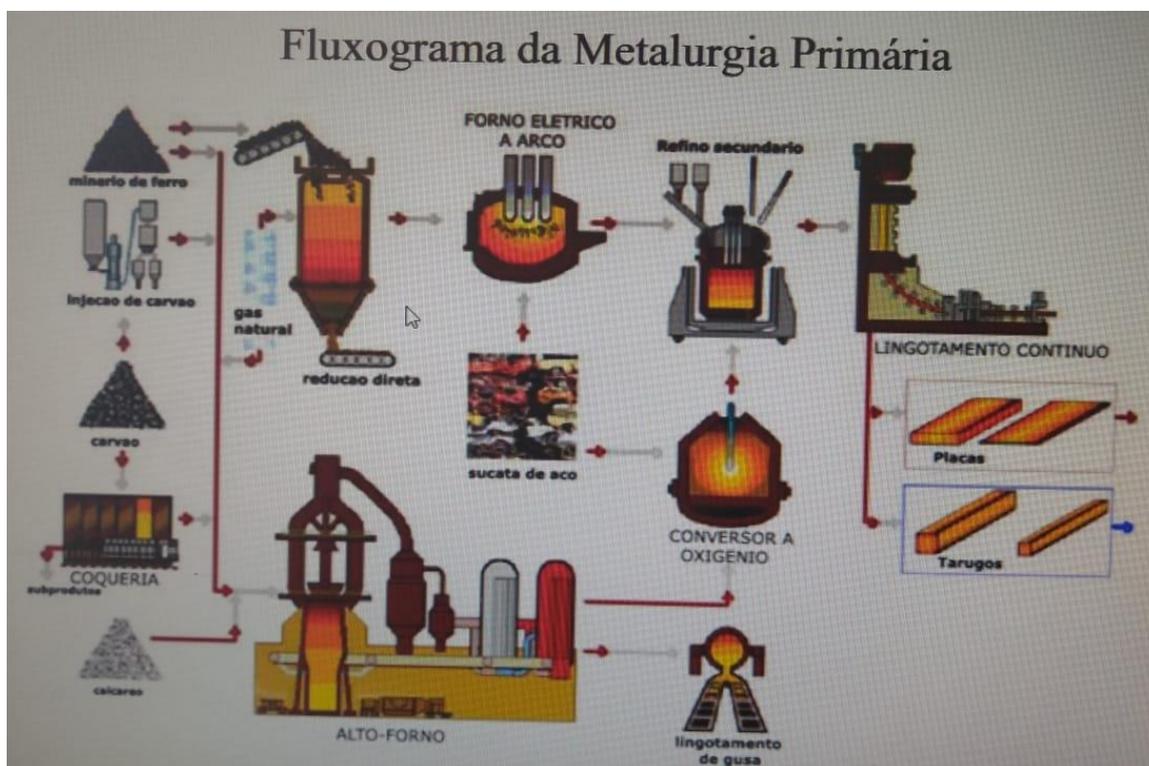
2.3 MATERIAL DE FABRICAÇÃO DO EIXO DE TRANSMISSÃO

Conforme Chiaverini (2008) os eixos de transmissão podem ser fabricados em aços de médio teor de carbono ou Ferro fundido. Devido a isso, devemos entender o conceito de classificação dos aços.

Os aços podem ser classificados em grupos, com base em suas propriedades comuns que são: composição, como aços carbono (baixo, médio e alto teor de carbono), além dos aços ligas (CHIAVERINI, 2008). De acordo com Tuper (2022), o aço carbono é uma liga metálica e sua liga confere ao aço, um nível de resistência mecânica, dispendo de 0,008% a 2,1% de concentração de carbono em sua composição. Conforme Chiaverini (2008) o aço (médio teor) carbono tem uma resistência mecânica, boa resistência ao choque e ao impacto, o que se aplica num eixo de transmissão. Já os eixos durante seu trabalho, podem sofrer um esforço de torque e giro, um aço com médio teor de carbono, possui características satisfatórias a este trabalho mecânico. O ferro fundido, ele é quebradiço, com exceção dos ferros fundidos maleáveis. O ferro fundido é um grupo de ferro-ligas de carbono no qual o mesmo é superior a 2%. Sua utilidade é designada da sua temperatura de fusão relativamente baixa. Os ferros fundidos principais são três: branco, cinzento e nodular.

Seu ponto de fusão relativamente baixo, boa fluidez, capacidade de fabricação, resistência à deformação e ao desgaste, os ferros fundidos tornaram-se um material de engenharia com ampla gama de aplicações, sendo usados em tubos, máquinas e peças da indústria automotiva, etc. É resistente à destruição e ao enfraquecimento pela oxidação (CHIAVERINI, 2008). Quanto ao aço também é aplicado ao eixo de transmissão (No caso forjado ou maciço) por ter uma boa elasticidade, boa taxa de escoamento, boa ductilidade e uma boa resistência a tração, conforme tabela abaixo, além da foto de um fluxograma de fabricação do aço, conforme Figura 6 (CHIAVERINI, 2008).

Figura 5 Fluxograma Simplificado de fabricação do aço carbono (Material usado na Produção de eixos de transmissão)



Fonte: USP Lorena/SP (2023)

2.4 CONCEITO DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS

Conforme conceito da Utmaax (2023) os ensaios mecânicos destrutivos e não destrutivos, são técnicas utilizadas para identificar e avaliar discontinuidades e defeitos em peças, materiais e equipamentos. Esses métodos consistem na aplicação de testes, que verificam as condições técnicas dos materiais. Por meio da observação do comportamento das peças sob análise, é que são retiradas informações importantes que indicam falhas, discontinuidades e não conformidades.

Os ensaios destrutivos, causa um dano permanente na peça a ser analisada. Este tipo de inspeção é feito por lote ou por amostra, ou seja, uma parte do lote ou uma amostra é tirada da peça, onde será feita a análise do item. A desvantagem do ensaio destrutivo é justamente essa, pois o inspetor não consegue inspecionar a totalidade de peças do lote, ou mesmo a totalidade de uma peça, e a mesma ser reaproveitada para uso. O descarte desse material é inevitável (UTMAAX, 2023).

Já os ensaios não destrutivos, a vantagem é que o material analisado não é danificado, ou seja, a peça pode ser efetuada inspeção no seu conjunto em 100%, ou mesmo a inspeção completa de um lote. Os ensaios não destrutivos são ensaios práticos, com fácil interpretação de resultado, sendo que a inspeção pode ser executada em campo, ou seja, numa plataforma de petróleo e gás, ou mesmo um elemento de máquina, que pode ser retirado, inspecionado e pode ser montado novamente no equipamento, caso este item não apresente defeito ou não conformidade (UTMAAX, 2023).

2.4.1 Líquido Penetrante Solúvel a Água, fluorescente e Ensaio de Dureza

Conforme Utmaax (2023) o ensaio não destrutivo de líquido penetrante, conforme conceito da é um tipo de inspeção de alta relevância, usado na detecção de trincas, poros e outras não conformidades, que se encontram na superfície do material inspecionado. O serviço é caracterizado como uma técnica realizada por meio de aplicação de um líquido penetrante, que tem como função identificar discontinuidades na superfície aberta de diversos tipos de materiais.

O método consiste em inserir na superfície da peça o líquido (penetrante). Após o processo de inserção do líquido, é necessária uma espera, que varia entre 10 a 15 minutos, para a remoção do seu excesso, deixando que o restante do líquido, fique na

parte que apresenta a descontinuidade. A imagem da descontinuidade fica visível na superfície do material por meio de um tipo específico de revelador (UTMAAX, 2023).

Na sequência, o penetrante é removível com água, os reveladores que é utilizado para o ensaio normal e fluorescente é o mesmo. Estão ilustrados na Figura 7.

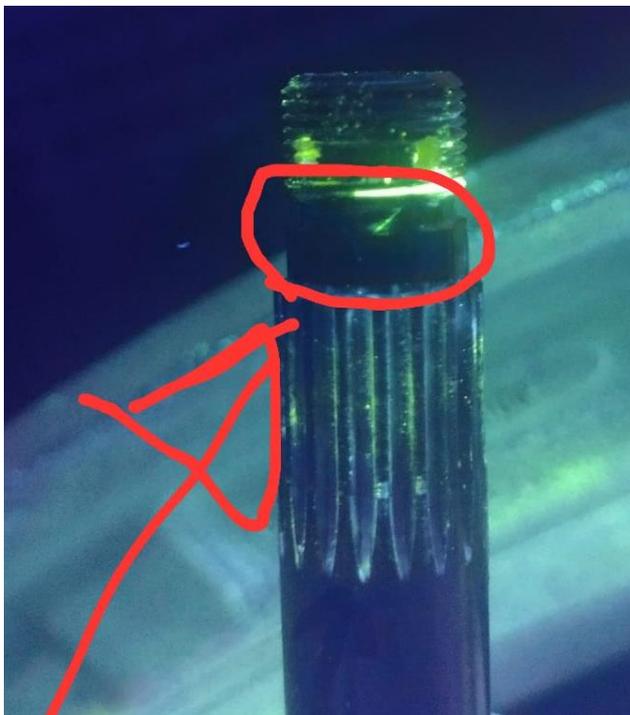
Figura 6 Revelador, Penetrante Fluorescente e Penetrante (lavável a água)



Fonte: Magnaflux (2023)

Para revelar as descontinuidades no ensaio a água e fluorescente, a única diferença, é luz que será emitida em cima da peça (luz branca no solúvel a água, luz negra no fluorescente). Na Figura 08 demonstra as peças com luz negra e na Figura 09, luz branca que passaram por inspeção de L.P (líquido penetrante) (UTMAAX, 2023).

Figura 7 Ponta de eixo roscada, com trinca transversal (Ensaio de líquido penetrante fluorescente)



Fonte: Do autor (2023)

Figura 09 Flange com trincas transversais e longitudinais (Ensaio de líquido penetrante solúvel em água)



Fonte: Utmaax (2023)

Segundo a UFSCAR (2020), consiste em uma propriedade mecânica, cujo conceito está relacionado à resistência que um material apresenta ao risco ou à deformação permanente, quando pressionado por outro material ou por marcadores padronizados.

É o quanto de resistência, um material tem de resistir a ser penetrado. Já a dureza Rockwell, o penetrador pode ser um cone de diamante de 120° ou um penetrador esférico de aço temperado, com aplicações de cargas que variam entre 60, 100 e 150 Kgf. Antes da aplicação da carga, é aplicada uma pré-carga de 10 Kgf, para calibração do equipamento e início da leitura. A medição é feita direta no mostrador, sendo que o material deve obedecer ao range que varia entre 20 a 88 (HRA, HRC e HRD) (UFSCAR, 2020)

Medidas que forem muito elevadas, ou muito baixas, devem ser descartadas e verificadas novamente, para manter o desvio padrão. Caso o material não apresente medida, dentro do range, é necessária troca da carga aplicada, ou mesmo troca do penetrador.

O ensaio de dureza Rockwell (HR) foi criado em 1922, por Rockwell, no qual o mesmo, utilizava um sistema de pré-carga. O método de ensaio apresenta algumas vantagens em relação ensaio de dureza Brinell, pois

permite avaliar a dureza de metais diversos, desde os mais moles até os mais duros (RIJEZA, 2023). A Tabela 3, ilustra os tipos de escala da dureza Rockwell, e a Figura 10 ilustra o equipamento onde foi realizado a dureza.

Tabela 02 Escala de Dureza Rockwell

ESCALA DE DUREZA ROCKWELL NORMAL E APLICAÇÕES					
ESCALA	COR DA ESCALA	CARGA MAIOR	PENETRADOR	FAIXA DE UTILIZAÇÃO	CAMPO DE APLICAÇÃO
A	preta	60	diamante cone 120°	20 a 88 HRA	Carbonetos, folhas de aço com fina camada superficial endurecida
C	preta	150	diamante cone 120°	20 a 70 HRC	Aço, titânio, aços com camada endurecida profunda, materiais com HRB>100
D	preta	100	diamante cone 120°	40 a 77 HRD	Chapas finas de aço com média camada endurecida
B	vermelha	100	esfera aço 1,5875 mm	20 a 100 HRB	Ligas de cobre, aços brandos, ligas de alumínio, ferro maleável etc.
E	vermelha	100	esfera aço 3,175 mm	70 a 100 HRE	Ferro fundido, ligas de alumínio e de magnésio
F	vermelha	60	esfera aço 1,5875 mm	60 a 100 HRF	Ligas de cobre recozidas, folhas finas de metais moles
G	vermelha	150	esfera aço 1,5875 mm	30 a 94 HRG	Ferro maleável, ligas de cobre-níquel-zinco e de cobre-níquel
H	vermelha	60	esfera aço 3,175 mm	80 a 100 HRH	Alumínio, zinco, chumbo
K	vermelha	150	esfera aço 3,175 mm	40 a 100 HRK	Metais de mancais e outros muito moles ou finos

Fonte: Blog do Metalúrgico (2023)

Figura 10– Durômetro Panantec ATMI (Dureza Rockwell e Brinell)



Fonte: Do Autor (2023)

2.5 CONCEITO DE METALOGRAFIA

De acordo com Sachelli (2023), saber as propriedades e características de um material, são de extrema importância, para o entendimento de qual o melhor qual tipo de material pode ser aplicado em cada função. Diante desse cenário, aparece a Metalografia, como uma boa ferramenta de trabalho.

Metalografia é a análise da estrutura e da morfologia dos metais e pode ser usada em todas as etapas de trabalho, na análise de materiais, desde a sua fabricação, meio da vida útil e no momento do descarte da peça, nesse último caso, sendo usado como uma ferramenta de análise de falhas, pode ser um ensaio da estrutura dos metais, sendo importante para a caracterização desse tipo de material (SACHELLI, 2023)

Esse estudo é realizado a partir da análise de uma superfície preparada (Cortada, embutida ou não, lixada, polida, atacada quimicamente e analisada via microscópio). Com base na interpretação dessa avaliação, é possível relacionar a estrutura do aço com as suas propriedades físicas e mecânicas, além de sua composição química. Este ensaio se divide em dois tipos de análise: macrografia ou ensaio macrográfico e micrografia ou ensaio micrográfico (SACHELLI, 2023).

O ensaio macrográfico é quando a peça é preparada com um lixamento até uma lixa com granulometria de 500, onde a peça já pode ser atacada quimicamente, e a observação da superfície, é feita através de uma lupa ou estereoscópio com uma ampliação menor que 50 vezes. A macrografia tem a finalidade identificação e caracterização de inclusões e descontinuidades sendo as mais relevantes: presença de impurezas, presença de falhas, processo de fabricação da peça e por fim, a profundidade de tratamentos térmicos (SACHELLI, 2023). Micrografia é quando a amostra é observada com a ajuda de um microscópio, visando analisar algumas características mais profundas, dentre elas estão: identificação de granulação do material obtendo seu tamanho e forma, observação da morfologia das fases presentes, identificação o tipo de tratamento térmico utilizado em sua fabricação e, por fim, analisar os constituintes do material (SACHELLI, 2023).

Para se realizar o ensaio de metalográfica existe uma sequência de operações onde, primeiramente, é retirado uma amostra do material, através de uma cortadeira metalográfica, fazendo que a amostra fique em dimensões reduzidas e adequadas, para os trabalhos posteriores de embutimento, lixamento, polimento, ataque químico

e análise em microscópio (caso seja uma micrografia) (SACHELLI, 2023).

Depois do corte, a amostra é colocada numa embutidora, para fazer o seu embutimento, para que este material fique de fácil manuseio, para execução do lixamento, polimento e posicionamento da amostra em estereoscópio ou microscópio, após ataque químico. O embutimento pode ser realizado a quente ou a frio, de acordo com o material a ser analisado. Após o embutimento, é feito o processo de lixamento da amostra (SACHELLI, 2023).

O lixamento consiste em preparar a amostra passando de uma lixa mais grosseira, até uma lixa mais fina. No caso da macrografia, a granulometria da lixa vai de 180 até 500. Já na Micrografia, o lixamento passa da lixa 180 até uma lixa 2000, para que fique uma superfície bem-acabada para polimento (SACHELLI, 2023).

O Polimento tem como objetivo a obtenção de uma superfície isenta de riscos e que permita a visualização de uma imagem nítida ao microscópio. No polimento é utilizado panos de polimento, com auxílio do trabalho com adição de pasta de diamante ou outras substâncias que ajudam a polir, como sílica coloidal e alumina (SACHELLI, 2023).

Após o polimento, a amostra recebe ataque químico em sua superfície, sendo este ácido sendo removido com álcool e jato de ar quente, para criar um contraste em sua superfície, facilitando a visualização da mostra no microscópio. Após a limpeza da superfície, a amostra é colocada no microscópio, onde é feita análise da estrutura.

Na análise serão observados itens como processo de manufatura da peça (fundição, metalurgia do pó, soldagem, extrusão, forjamento), tratamentos térmicos submetidos (têmpera, revenimento, esferoidização), presença de tratamentos termoquímicos (nitretação, cementação e boretação), revestimentos ou tratamentos superficiais (cromagem, fosfatização), distribuição e morfologia de fases intermetálicas, tamanho e região de crescimento dos grãos, porosidade, segregações, inclusões na microestrutura, formação de carbonetos em superfícies e contornos de grãos, corrosão intragranular e/ou intragranular e análise do modo de falha (SACHELLI, 2023).

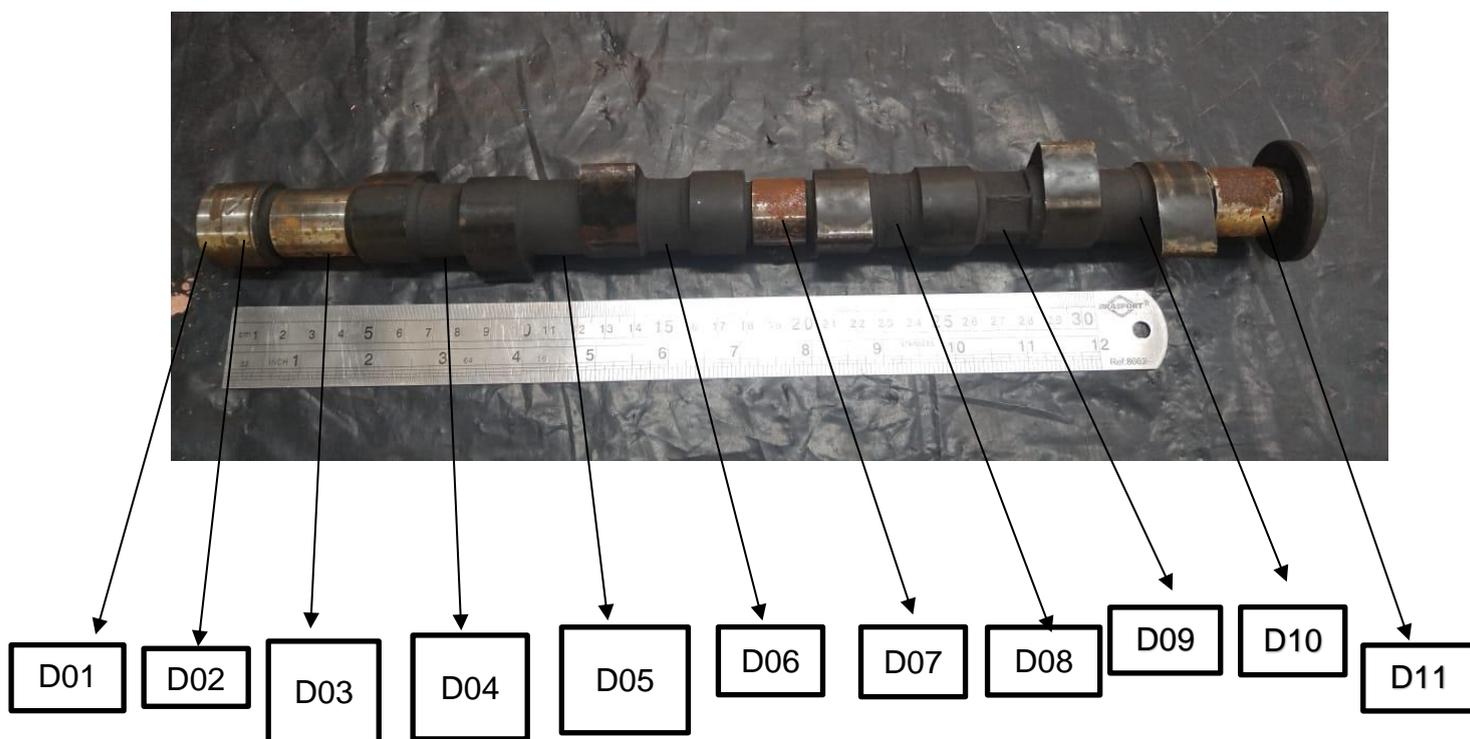
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Inspeção Visual (Laboratório de END)

Para a realização deste trabalho, foi utilizado um eixo do comando do cabeçote do motor, de um Pálio Fire 2007, modelo LX 05 portas Flex. Este em estudo, trata-se de uma peça já desgastada, com aproximadamente 04 anos de uso.

O primeiro trabalho executado no eixo, foi uma inspeção visual do item, além de um controle dimensional do mesmo. O eixo foi dividido conforme figura 12, que constam as medições dos diâmetros, exceto os diâmetros menores (perfis triangulares), como indicados mais à frente nos resultados finais.

Figura 12 Eixo do Comando do Motor



Fonte: Do autor (2023)

Conforme tabela 01, é sabido que a peça é de Ferro fundido, sendo a mesma, analisada no Espectrômetro da USP de Lorena/SP. Amostra após o ensaio no espectrômetro, conforme figura 13. Na discussão de resultados, é explicado que inicialmente pensava-se ser um aço SAE de médio ou alto teor de carbono. Na figura

13, sabendo-se tratar de um ferro fundido, a Tabela 03 foi inserida, para informação no trabalho.

A inspeção visual teve como finalidade, verificação de desgastes sofridos pelo tempo de trabalho do componente.

Tabela 03 Composição Química do Material (Conforme Inspeção no Espectrômetro)

Elemento Químico	Porcentagem (%)
Si (Silício)	2,26
Mn (Manganês)	0,162
P (Fósforo)	0,0051
Ni (Níquel)	0,011
Cr (Cromo)	0,013
Mo (Molibdênio)	0,056
Cu (Cobre)	0,134
Alumínio	0,0073
Ti (Titânio)	0,0244
V (Vanádio)	0,0017
B (Boro)	0,001
W (Tungstênio)	0,02
Co (Cobalto)	0,004
Mg (Magnésio)	0,0177
Pb (Chumbo)	0,0013
C (Carbono)	3,67
Material da Amostra : Ferro Fundido	

Fonte: Do autor (2023)

Figura 13 Amostra após ensaio com espectrômetro



Fonte: Do Autor (2023)

3.2 – Controle Dimensional (Laboratório de END)

Após a Inspeção visual do item, foi executado o controle dimensional, utilizando Paquímetro, escala metálica. Os diâmetros foram descritos em uma tabela, indicada nos resultados finais. Não houve comparação de medidas, pois não existia o desenho do componente, pois não era inicialmente o objetivo do trabalho.

3.3 – Inspeção por Líquido Penetrante (Laboratório de END)

Antes do corte das amostras, que foram analisadas metalograficamente e executado medição de dureza Rockwell, foi feito uma inspeção por líquido penetrante (Lavável a água e fluorescente), conforme procedimento PR001 da Abendi, para eficiência na análise dos resultados.

Objetivo do ensaio foi a verificação de possíveis pontos de corrosão, desgaste e demais não conformidades.

3.4 – Cortes das amostras para Ensaio de Metalografia e Ensaio de Dureza (Laboratório de Metalografia)

Após a inspeção por líquido penetrante, foi cortado duas amostras do componente, para execução do ensaio de dureza Rockwell e para o ensaio de metalografia do material. As amostras foram cortadas no laboratório de metalografia, numa Cortadeira metalográfica Teclago modelo CM80, conforme figura 14. As amostras cortadas (figura 15). Depois de cortada, as amostras foram embutidas (figura 17), na embutidora Arotec Analógica do laboratório de metalografia (figura 16).

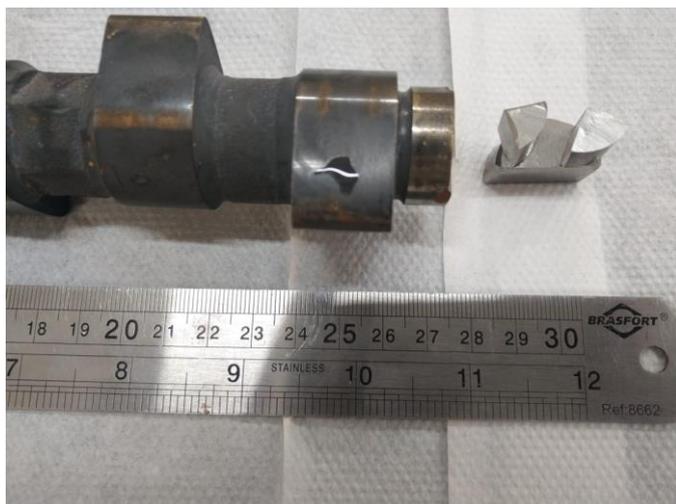
Uma amostra foi lixada, em uma Lixadeira retangular manual (figura 18), feito o polimento com alumina numa politriz circular, para depois a verificação no Microscópio para identificação do Ferro Fundido.

Figura 14 Cortadeira Metalográfica CM 80



Fonte: Fatec de Pindamonhangaba (Foto do autor)

Figura 15: Eixo (Retirada das amostras)



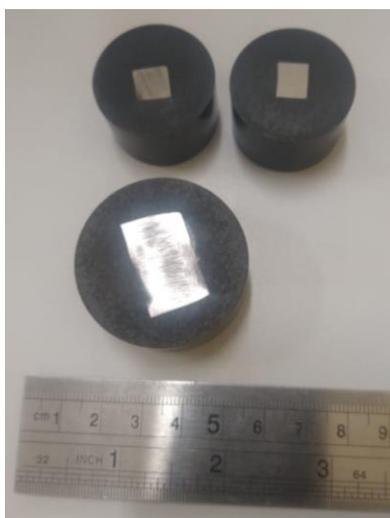
Fonte: Do autor (2023)

Figura 16: Embutidora Metalográfica



Fonte: Fatec de Pindamonhangaba (Foto do autor)

Figura 17 Amostras Embutidas



Fonte: Do autor (2023)

Figura 18 Lixadeira Circular



Fonte: Fatec de Pindamonhangaba (Foto do autor)

3.5 –Ensaio de Dureza (Ensaio Mecânicos)

Uma Amostra embutida foi separada, no qual foi feito ensaio de dureza Rockwell, com utilização de Durômetro Panantec Analógico ATMI (Figura 19), pré carga de 10 kgf, carga de 60 kgf, utilizando penetrador de cone de diamante 120°, para verificação de propriedades da amostra. O ensaio de dureza foi feito conforme tabela da figura 20.

Figura 19 Durômetro Panantec Analógico Modelo ATMI (Dureza HRA)



Fonte: Do autor (2023)

Figura 20 Tabela de Dureza Rockwell

TABELA DE DUREZA ROCKWELL NORMAL E APLICAÇÕES					
ESCALA DE DUREZA ROCKWELL NORMAL E APLICAÇÕES					
ESCALA	COR DA ESCALA	CARGA MAIOR	PENETRADOR	FAIXA DE UTILIZAÇÃO	CAMPO DE APLICAÇÃO
A	preta	60	diamante cone 120°	20 a 88 HRA	Carbonetos, folhas de aço com fina camada superficial endurecida
C	preta	150	diamante cone 120°	20 a 70 HRC	Aço, titânio, aços com camada endurecida profunda, materiais com HRB>100
D	preta	100	diamante cone 120°	40 a 77 HRD	Chapas finas de aço com média camada endurecida
B	vermelha	100	esfera aço 1,5875 mm	20 a 100 HRB	Ligas de cobre, aços brandos, ligas de alumínio, ferro maleável etc.
E	vermelha	100	esfera aço 3,175 mm	70 a 100 HRE	Ferro fundido, ligas de alumínio e de magnésio
F	vermelha	60	esfera aço 1,5875 mm	60 a 100 HRF	Ligas de cobre recozidas, folhas finas de metais moles
G	vermelha	150	esfera aço 1,5875 mm	30 a 94 HRG	Ferro maleável, ligas de cobre-níquel-zinco e de cobre-níquel
H	vermelha	60	esfera aço 3,175 mm	80 a 100 HRH	Alumínio, zinco, chumbo
K	vermelha	150	esfera aço 3,175 mm	40 a 100 HRK	Metais de mancais e outros muito moles ou finos

Fonte: Fatec Pindamonhangaba (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Inspeção Dimensional

Na inspeção dimensional, foi executado a aferição das medidas dos diâmetros (figura 12 em materiais e medos), utilizando paquímetro Mitutoyo de precisão 0,05 mm, além de escala metálica, no qual foi observado os seguintes resultados da tabela 4.

Tabela 04: Tabela de dimensões do eixo do Comando (Diâmetros)

Diâmetros	Medida em mm
D01	29,10
D02	30,00
D03	25,40
D04	26,40
D05	26,40
D06	23,60
D07	23,40
D08	26,00
D09	22,60
D10	25,70
D11	24,08
08 “diâmetros alongados” com perfil triangular	
Comprimento total do eixo: 374 mm	

Fonte: Do autor (2023)

Quantos aos diâmetros, não foram verificadas as tolerâncias das dimensões, pois não existia o desenho técnico do componente. Esta medição foi executada, para fins de treinamento prático e verificação do eixo de comando, como objeto de estudo.

O próximo item de inspeção, foi a verificação visual do componente.

4.2 - Inspeção Visual

Quanto a inspeção visual, devido ao tempo de trabalho do componente mecânico (aproximadamente 04 anos), foi verificada pontos de corrosão severa em várias partes do eixo, pelo mesmo estar em contato com óleo e água, tendo em vista que o cabeçote do motor sobreaqueceu, gerando a troca do cabeçote. Além disso, devido a este esforço, pode se observar marcas de desgaste mecânico severo, sendo necessário a troca do item, por um novo.

Anteriormente, este cabeçote já havia passado por retífica, mas devido ao aquecimento do conjunto, houve mistura da água com óleo, devido a queima da junta, além de um desgaste severo no eixo do motor.

Os pontos de corrosão podem ser observados nas figuras a seguir (figuras 21, 22 e 23), e o desgaste mecânico pode ser verificado na figura 24. Devido a estes itens de não conformidade, foi feito um ensaio de líquido penetrante (Solúvel a água e fluorescente).

Figura 21 Pontos de Corrosão no Eixo de Comando



Fonte: Do autor (2023)

Ponto de
Corrosão

Figura 22 Pontos de Corrosão no Eixo de Comando (foto 2)



Fonte: Do autor (2023)

Ponto de
Corrosão

Figura 23 Pontos de Corrosão (foto 03)



Fonte: Do autor (2023)

Ponto de
Corrosão

Figura 24 Desgaste Mecânico (Eixo)



Fonte: Do autor (2023)

4.3 – Ensaio Não Destrutivo (Líquido Penetrante Lavável a água)

O Ensaio de L.P (líquido penetrante) foram feitos o método solúvel a água, utilizando luz branca para verificação dos defeitos, e também o ensaio fluorescente, devido o mesmo possuir uma maior sensibilidade, para detecção de resultados. Antes da inspeção, foi feita a limpeza do componente mecânico (figura 25), com escova manual de aço, e aplicado solvente, para limpeza do eixo, para uma melhor inspeção.

O primeiro método executado foi o solúvel a água, no qual foi aplicado o penetrante (figura 26 e figura 27) e esperado o tempo de ação, que no caso foi 15 minutos. Após o tempo de cura, a peça foi lavada com água e secada ao ar natural. A luz branca foi verificada com auxílio de luxímetro, no qual é necessária uma luminosidade de 1000 lux, para melhor interpretação dos resultados. Em seguida, foi aplicado o Revelador SKD-S2 (figura 28,29) para revelar as não conformidades, com auxílio da luz.

Foram confirmados pontos de corrosão (figura 31 (poros)), o desgaste mecânico já observado na inspeção visual, além de indicação de trincas (figura 30) ao longo da peça. Abaixo as fotos dos consumíveis e todas as etapas do processo. O ensaio foi seguido conforme PR001 (ABENDI,2015). A quantidade de poros, marcas de desgaste e corrosão, já são suficientes para a troca do eixo de comando.

Figura 25 Eixo de Comando, após escovação manual (escova de aço)



Fonte: Do autor (2023)

Figura 26 Eixo de Comando, após aplicação de L.P (Solúvel a água)



Fonte: Do autor (2023)

Figura 27 L.P (Solúvel a água)



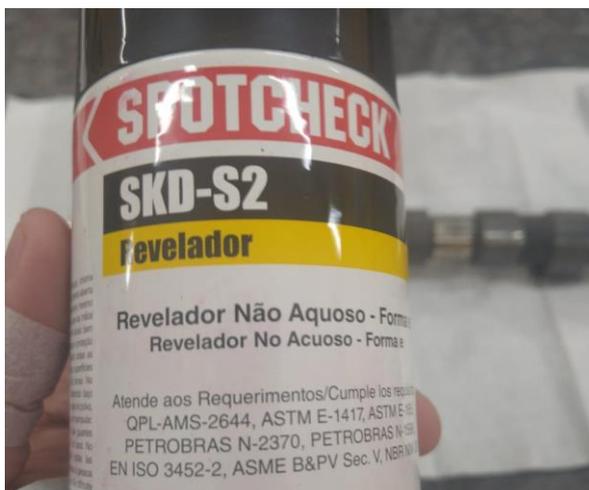
Fonte: Do autor (2023)

Figura 28 Revelador SKD – S2



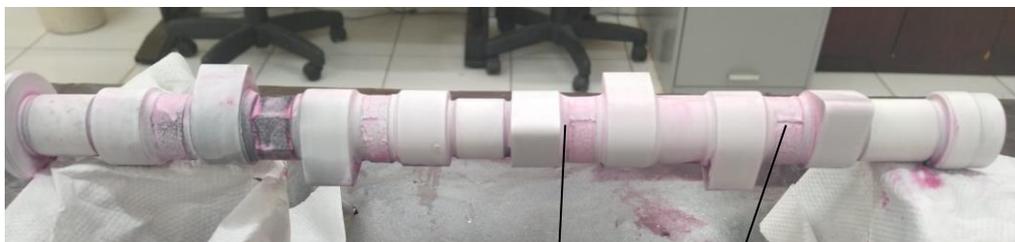
Fonte: Do autor (2023)

Figura 29 Revelador SKD-S2 (Revelador não aquoso)



Fonte: Do autor (2023)

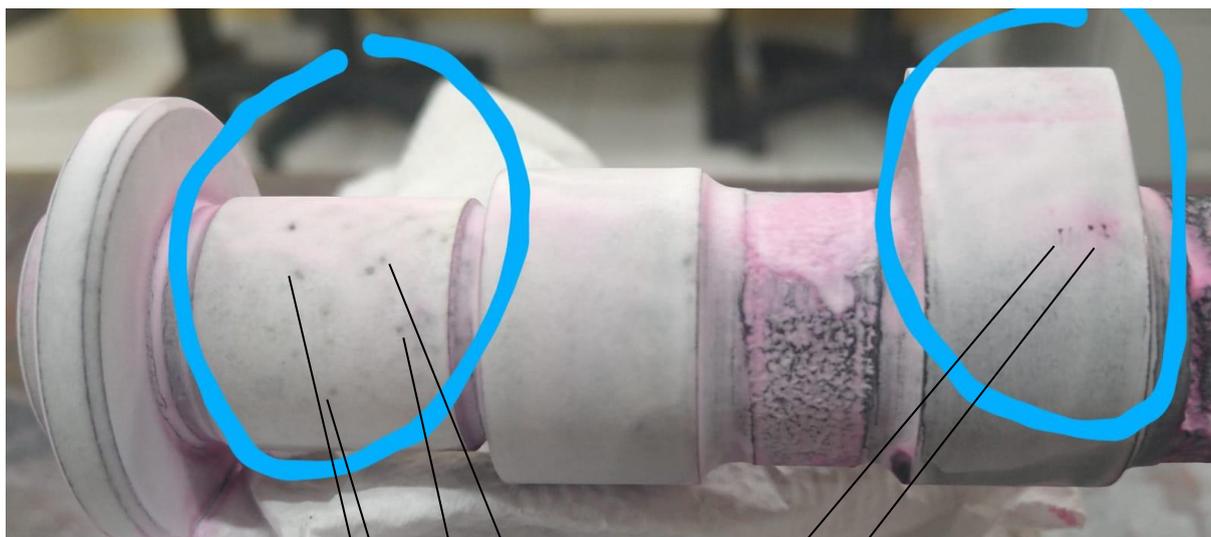
Figura 30 Interpretação de resultados



Fonte: Do autor (2023)

Trincas por desgaste (Tempo de Trabalho)

Figura 31: Interpretação de resultados (2)



Pequenos Poros (Corrosão)

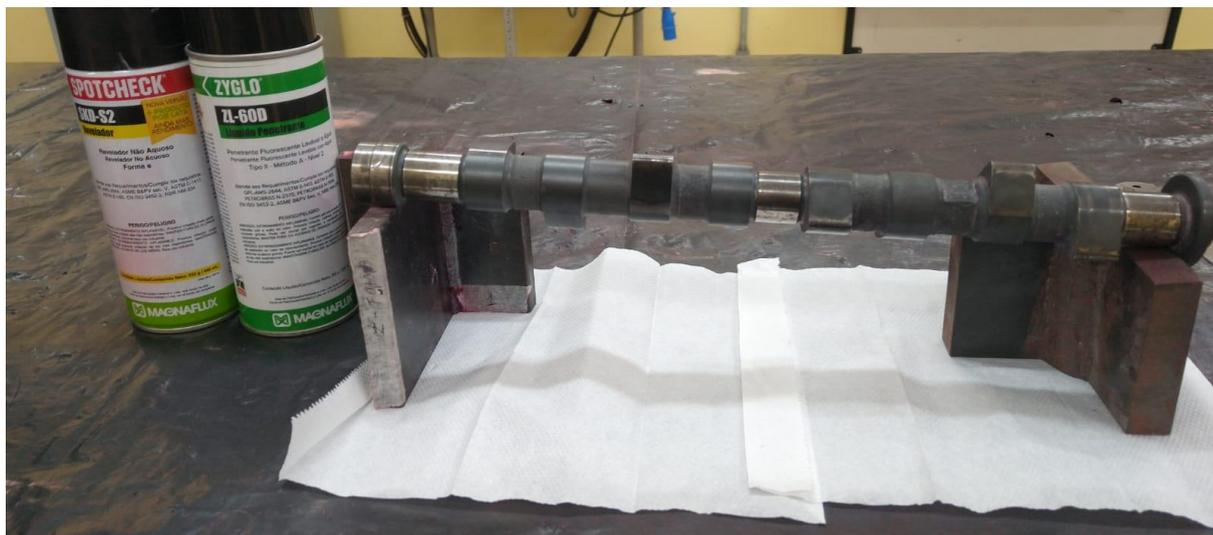
Fonte: Do autor (2023)

4.3.1 – Ensaio Não Destrutivo (Líquido Penetrante Lavável a água Fluorescente)

As etapas executadas nesse ensaio, são bem parecidas, referente ao ensaio anterior. A diferença é o que o penetrante aplicado é o fluorescente (figura 32), e a luz para verificação dos resultados, é uma luz ultravioleta (figura 33), calibrada com um medidor de luz ultravioleta (figura 34). O eixo do motor foi lavado com água, retirados os insumos do ensaio anterior, para aplicação do penetrante fluorescente. O tempo de cura do penetrante utilizado foi de 15 minutos. Enquanto a peça estava em cura do procedimento, foi verificada a luz negra, para realização do ensaio (figura 35). Depois de verificada a luz, o eixo foi lavado com água, deixando secar ao ar naturalmente, para aplicação do revelador SKD-S2 (figura 36), o mesmo revelador utilizado no ensaio anterior, conforme PR001 (ABENDI,2015).

Após o revelador aplicado, foi feita inspeção com luz ultravioleta, ao longo da peça, onde ficou nítida observação de poros (figura 37,38), trincas (figura 39), desgaste mecânico (figura 37), justificando a troca do componente, pois o mesmo encontra-se bastante danificado.

Figura 32 Preparação do Eixo do comando para ensaio por LP (Fluorescente)



Fonte: Do autor (2023)

Figura 33 Luz Ultravioleta



Fonte: Do autor (2023)

Figura 34 Medidor de Luz Ultravioleta



Fonte: Do autor (2023)

Figura 35 Aplicação do L.P (Fluorescente)



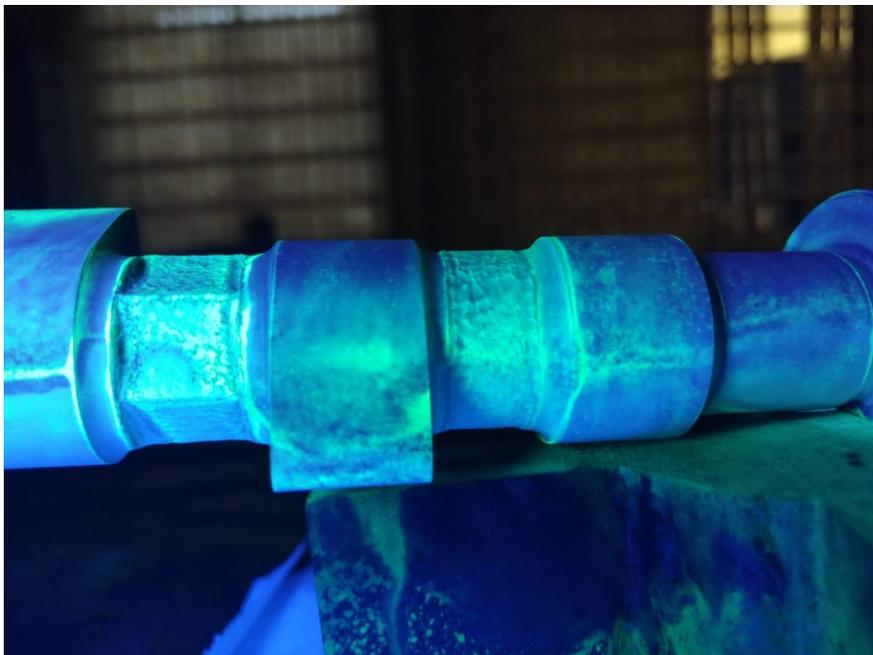
Fonte: Do autor (2023)

Figura 35: Verificação da Luz Ultravioleta



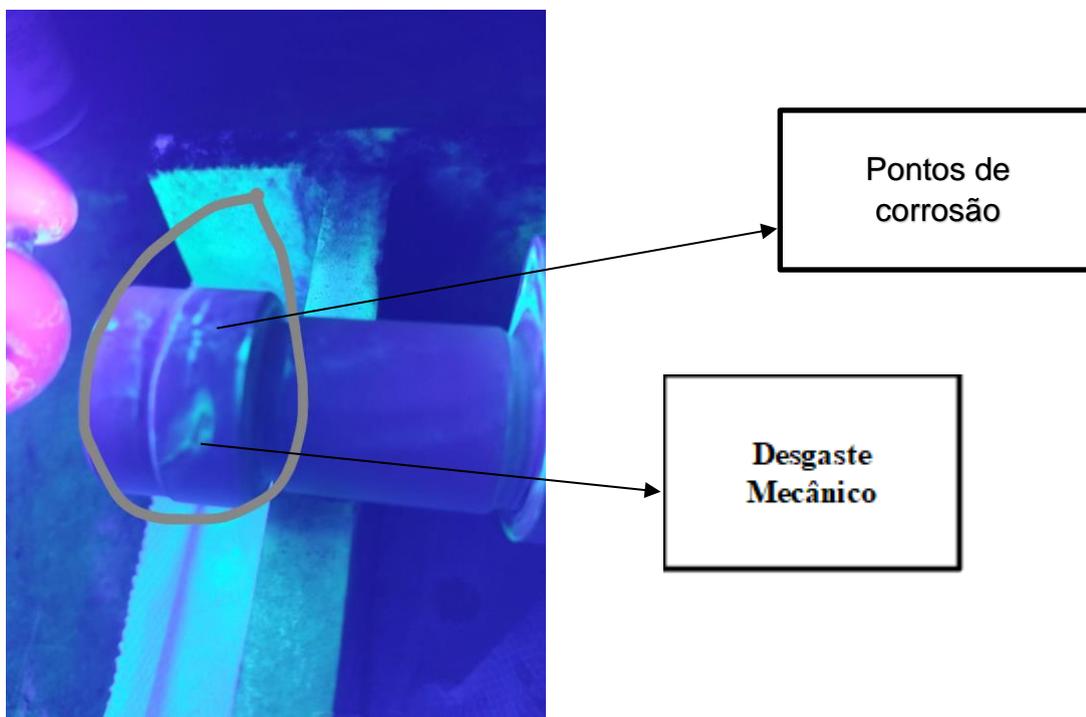
Fonte: Do autor (2023)

Figura 36 Revelador aplicado



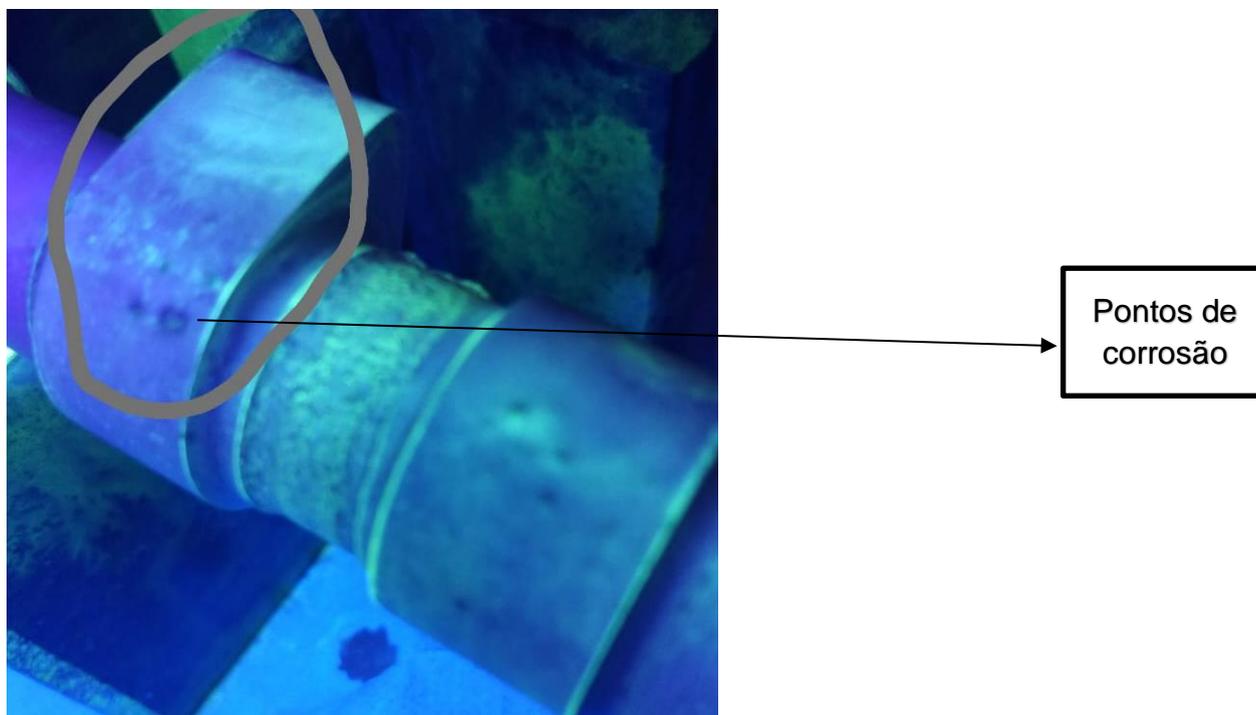
Fonte: Do autor (2023)

Figura 37 Resultados do Ensaio



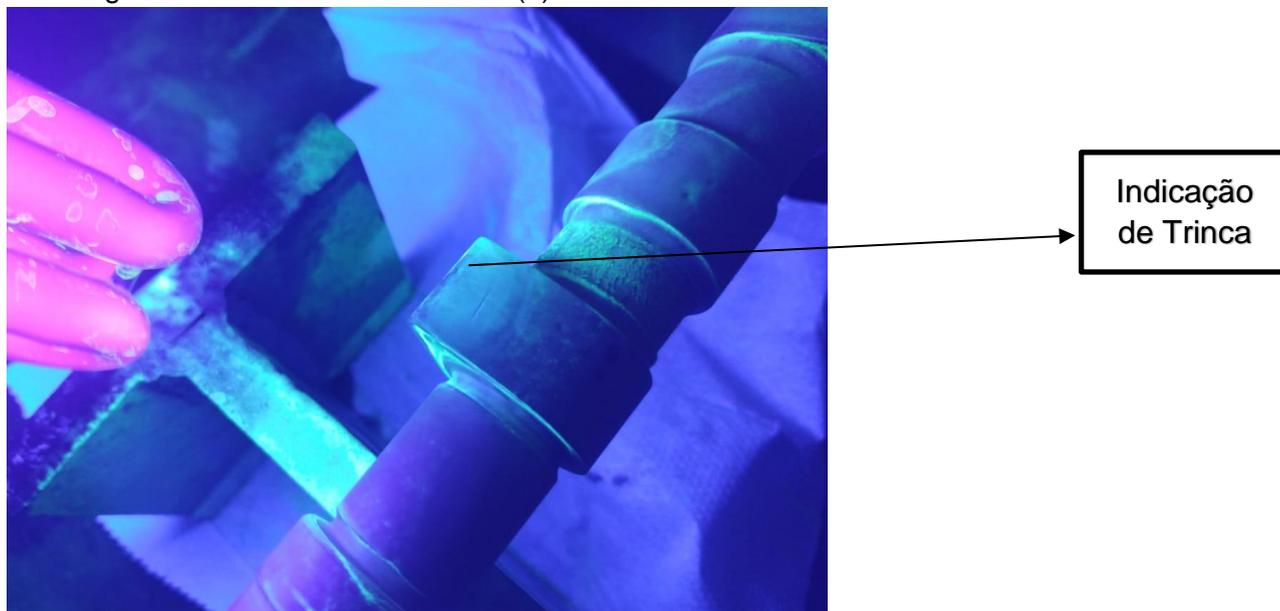
Fonte: Do autor (2023)

Figura 38 Resultados do Ensaio (2)



Fonte: Do autor (2023)

Figura 39: Resultados do Ensaio (3)



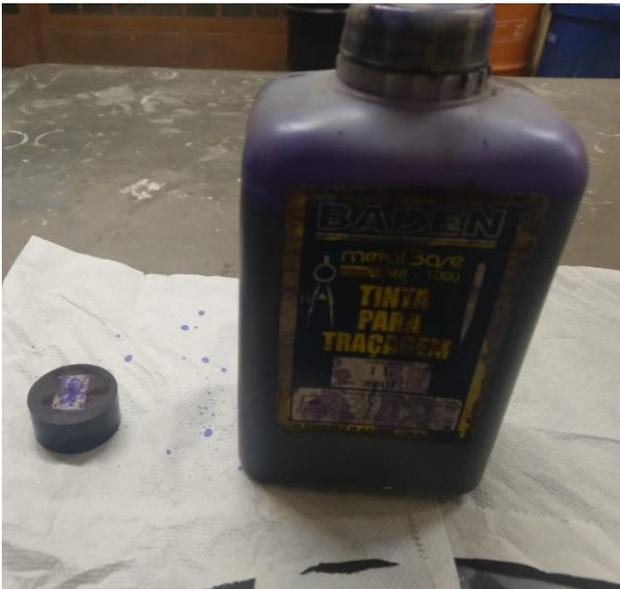
Fonte: Do autor (2023)

4.4 – Ensaio Mecânico de Dureza (Medição de Dureza Rockwell)

Após o ensaio não destrutivo de L. P, uma amostra foi embutida, no laboratório de metalografia, no qual a mesma foi traçada com tinta azul, e foi feito a marcação para a medição de dureza HRA (figura 40 e 41(Rockwell A)). Foram executados seis pontos de medição de dureza (figura 43), com pré carga de 10 KGF, penetrador cone de Diamante de 120 °, com carga de 60 Kgf, no qual o RANGE de medida compreende-se entre 20 a 88 HRA.

A peça ficou com o entalhe do penetrador (figura 42), no qual foram encontradas as seguintes medidas, conforme tabela abaixo. Entre o que a norma e o ensaio pedem, as medidas ficaram dentro do esperado (escala HRA), para um ferro fundido (Média de aproximadamente 62 HRA), de acordo com Chiaverini (2008).

Figura 40 Tinta azul com amostra traçada



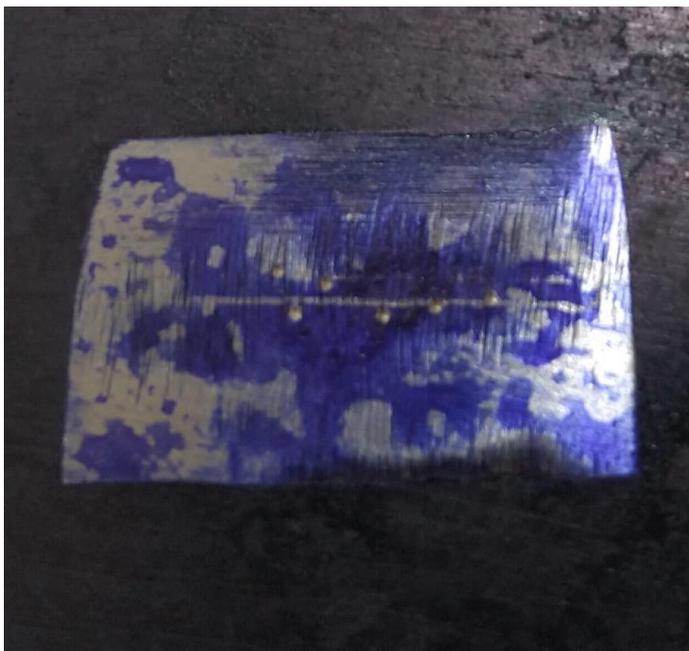
Fonte: Do autor (2023)

Figura 41 Peça traçada com tinta azul



Fonte: Do autor (2023)

Figura 42 Peça após o Ensaio de Dureza (HRA)



Fonte: Do autor (2023)

Figura 43 Medição de dureza (HRA)



Fonte: Do autor (2023)

Tabela 05 Tabela de Medição de Dureza (HRA)

Medida número	Dureza (HRA)
01	61
02	63
03	62
04	60
05	62
06	60
Média	61,33

Fonte: Do autor (2023)

4.5 – Ensaio de Metalografia

Após o ensaio de dureza, outra amostra foi preparada para os ensaios de metalografia, no laboratório da Faculdade. Amostra já está embutida, então a mesma foi lixada em Lixadeira retangular manual nas lixas 180, 220, 360, 400, 600, 1500 e 2000 mesh (figura 45). Após o lixamento, a peça foi polida em uma Politriz Circular rotativa, utilizando Alumina de 1 umm (figura 46).

É sabido que o componente é fabricado em ferro fundido nodular, por isso a amostra foi analisada por meio de imagens em um microscópio óptico Olympus TH4 – 200 (figura 44), utilizando aumento de 50, 100, 500 e 1000 vezes.

Conforme imagens abaixo fica demonstrado que o eixo do comando do motor foi fabricado em ferro fundido nodular (figuras 47, 48, 49 e 50).

Figura 44 Microscópio Óptico Olympus TH4-200



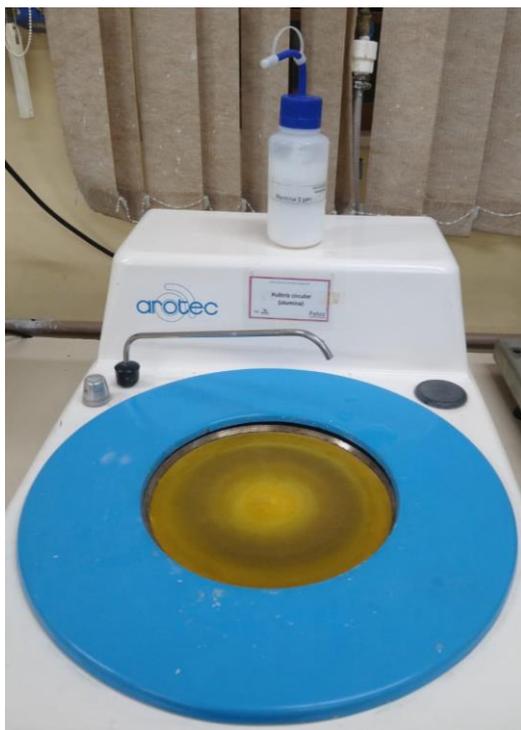
Fonte: Fatec Pindamonhangaba/SP (2023)

Figura 45 Lixadeira Retangular Arotec



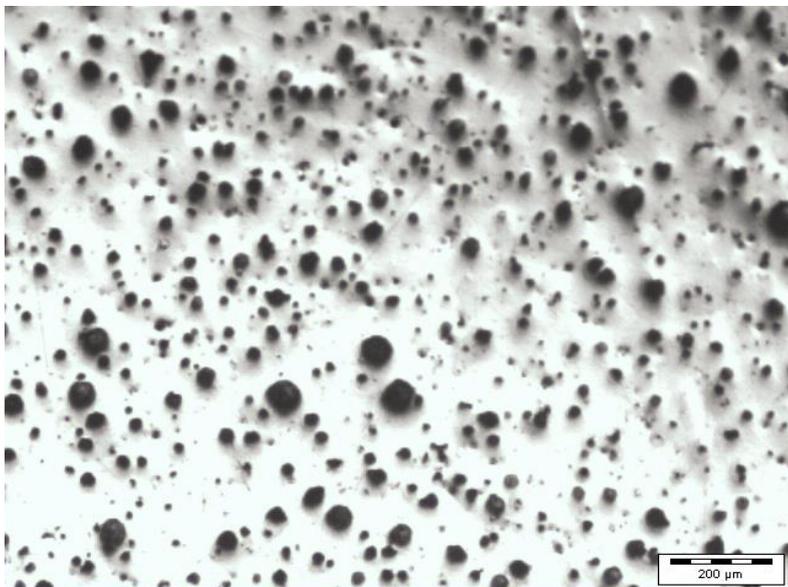
Fonte: Fatec Pindamonhangaba/SP (2023)

Figura 46 Politriz Arotec Alumina 1 μm



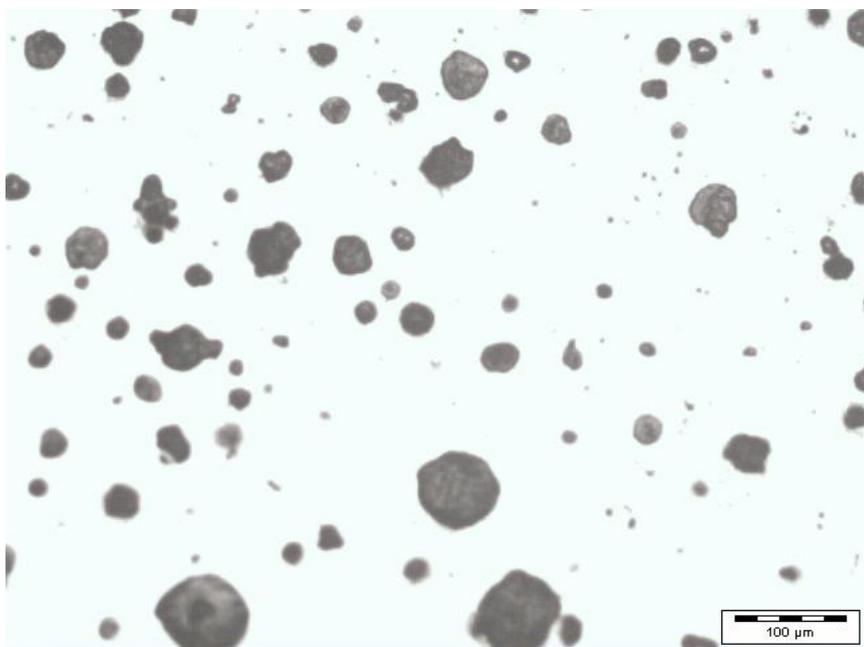
Fonte: Fatec Pindamonhangaba/SP (2023)

Figura 47 Ferro fundido nodular (50x)



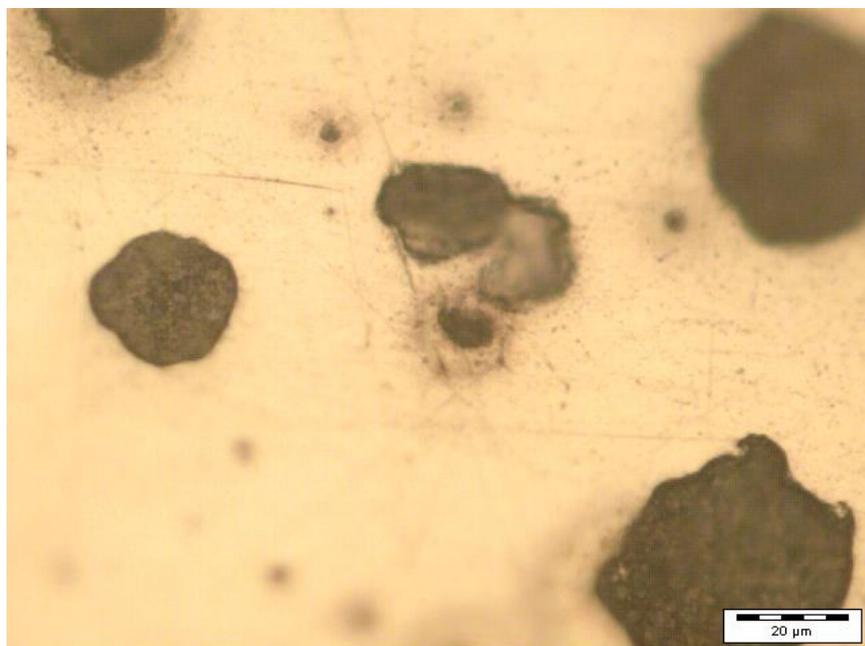
Fonte: Do autor (2023)

Figura 48: Ferro fundido nodular (100x)



Fonte: Do autor (2023)

Figura 49 Ferro fundido nodular (500x)



Fonte: Do autor (2023)

Figura 50 Ferro fundido nodular (500x)



Fonte: Do autor (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de exercitar conhecimentos teóricos e práticos, no Curso superior de Tecnologia em Mecânica: Processos de Soldagem, este trabalho foi direcionado em vários laboratórios práticos, aplicando as técnicas aprendidas ao longo da graduação, buscando informações técnicas em explicações do orientador e demais professores das áreas desenvolvidas. Os conceitos também foram consultados em bibliografia de referência nas respectivas áreas.

Conclui-se, portanto, os resultados foram obtidos com êxito, podendo afirmar que o componente mecânico estudado, encontrava-se com grandes regiões de corrosão e desgaste mecânico, devido ao trabalho ao longo dos anos (desgaste severo, consequência do sobreaquecimento do motor). Estes resultados puderam ser observados com ensaios visuais, ensaios não destrutivos e a inspeção dimensional.

Por meio do ensaio de dureza, metalografia e composição química, pode se afirmar que se trata de um eixo fabricado em ferro fundido, sendo do tipo nodular (conforme medidas de dureza, imagens de metalografia e tabela de composição química).

Como trabalho futuro, sugiro continuidade dos estudos do componente, utilizando outros ensaios mecânicos (tração, charpy), ensaio de dureza com aplicação do desvio padrão ou aprofundamento no estudo da metalografia das imagens. Outra sugestão de trabalho, é uma análise de um outro item do automóvel, utilizando os ensaios similares neste estudo.

REFERÊNCIAS

- HIPOYDE, **Eixo de Transmissão** disponível em <<https://www.fresadorahipoyde.com.br/eixo-transmissao>>. Acessado em 04/03/2023.
- JUNIVALL, R.C.; MARSHEK, K.M. **Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas**. 4 edições editora LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., Rio de Janeiro 2019.
- SOLUÇÕES CONSULTORIA, **Ensaio Mecânicos e qual a importância da sua realização?** Disponível em <<https://solucoesufv.com.br/conteudo/ensaios-mecanicos>>. Acessado em 04/03/2023.
- CARLOS, Y.C.M, **Ensaio de dureza: sua Importância Realização** Disponível em: <<https://www.ejemackenzie.com.br/ensaio-de-dureza>> consultado em: 04/03/2023.
- MAGNAFLUX. **Inspeção por Líquido Penetrante**. Disponível em: <<https://magnaflux.com.br/produtos/liquidos-penetrantes>>. Acessado em: 04/03/2023.
- Fernandes, P. **Ensaio Mecanográficos**. Disponível em: <<https://profpaulofj.webs.com/apostilaspublicaes.htm>>. Acessado em: 4/03/2023.
- SOBRATEMA. **Controle Dimensional Sem Erro**. Disponível em: <[https://revistamt.com.br/Materias/Exibir/controle-dimencional--sem-erros#:~:text=Controle20dimensional%20%C3%A9%20um%20m%C3%A9todo,intercam biabilidade%20de%20pe%C3%A7as%20e%20componentes](https://revistamt.com.br/Materias/Exibir/controle-dimencional--sem-erros#:~:text=Controle20dimensional%20%C3%A9%20um%20m%C3%A9todo,intercam%20biabilidade%20de%20pe%C3%A7as%20e%20componentes)>. Acessado em: 04/03/2023.

- Elementos de Máquinas – 09ª Edição revisada – Sarkis Melconian (2009)
- Donald R. Askeland e Wendelin J. Wright – Ciência e Engenharia dos Materiais – Tradução da 4ª edição americana, Cengage Learning, 2019.
- Aços e Ferros fundidos – 08 Edição revisada – Vicente Chiaverini (2008)
- <https://www.tuper.com.br/noticias/saiba-o-que-e-aco-carbono-e-quais-sao-as-aplicacoes-para-esta-materia-prima/>>. Acessado em: 04/03/2023.
- https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/93311/mod_resource/content/1/prod%20a%C3%A7o%202013.pdf >. Acessado em: 04/03/2023.
- <https://www.utmaax.com.br/> >. Acessado em: 04/03/2023.
- Ensaios de dureza: qual o mais indicado para cada material? | CCDM (ufscar.br). Acessado em: 04/03/2023.
- Dureza Rockwell: Conheça o conceito deste método. (Rijeza.com.br). Acessado em: 04/03/2023.
- Metalografia: o que é e para que é utilizada essa análise? - Sacchelli < Página consultada em 17/04/2023>
- <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-ferro-fundido.html> >. Acessado em: 04/03/2023.
- Blog do Metalúrgico: Ensaio de Dureza – Dureza Rockwell (blogdometalurgico.blogspot.com). Acessado em: 04/03/2023.
- <https://acosnobre.com.br/blog/tabela-de-acos-sae-classificacao-sae-dos-acos>. Acessado em: 13/12/2023.