

CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Fausto Alencar Vaz Machado Chaves

**ESTUDO DA ENGENHARIA REVERSA EM COMPONENTE DE
SISTEMA DE TRACÇÃO POR ESTEIRA NO BLINDADO
LEOPARD 1A5-BR**

Santa Maria, RS
2024

**ESTUDO DA ENGENHARIA REVERSA EM COMPONENTE DE SISTEMA DE
TRAÇÃO POR ESTEIRA NO BLINDADO LEOPARD 1A5-BR**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Orientador: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos

Santa Maria, RS
2024

**ESTUDO DA ENGENHARIA REVERSA EM COMPONENTE DE SISTEMA DE
TRAÇÃO POR ESTEIRA NO BLINDADO 1A5-BR**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Aprovado em 16 de fevereiro de 2024

Prof. Cesar Gabriel dos Santos, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Prof. Leandro Costa de Oliveira, Dr. (UFSM)

Prof. Inácio da Fontoura Limberger, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo deste caminho, além de permitir que meus objetivos fossem alcançados. Sem seu consentimento, sem dúvida não teria chegado onde estou hoje.

Aos meus pais que durante minha infância me ensinaram o caminho certo e que devemos lutar para alcançar nossos objetivos.

Agradeço imensamente a minha esposa Allana pela paciência e compreensão nos momentos mais difíceis de estresse e ansiedade e por todo incentivo na minha trajetória acadêmica e pela compreensão de minha ausência, e por ser uma mãe incrível para nossos filhos nos momentos que dediquei ao curso e me ausentei de casa.

Aos amigos que estiveram juntos desde que entrei na Universidade, especialmente aqueles que dividimos moradia na casa 5 da união universitária, pois foram de extrema importância para que eu continuasse no curso e chegasse nesse momento especial.

Não poderia deixar de formalizar minha eterna gratidão a todos da secretaria do CCS e todas as professoras e secretárias do curso de Fonoaudiologia, pois com o auxílio da bolsa que tive desde meu primeiro ano, foi possível me manter na cidade para concluir os estudos.

Ao professor César Gabriel dos Santos por ter sido meu orientador dedicando o seu tempo para me auxiliar na elaboração deste trabalho e por me aconselhar nas escolhas profissionais que segui durante esse trajeto acadêmico.

Por fim a Universidade Federal de Santa Maria e aos professores que tive durante todo esse percurso acadêmico, pois todos tinham o prazer de ensinar tornando assim um ensino de excelência e referência acadêmica.

RESUMO

ESTUDO DA ENGENHARIA REVERSA EM COMPONENTE DE SISTEMA DE TRAÇÃO POR ESTEIRA NO BLINDADO LEOPARD 1A5-BR

AUTOR: Fausto Alencar Vaz Machado Chaves

ORIENTADOR: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos

Nos últimos anos, fabricantes em todo mundo produziram milhões de produtos e peças de máquinas, devido aos avanços contínuos na tecnologia, o ciclo de vida dos produtos tem sido cada vez menor. Neste cenário estão as máquinas e equipamentos pesados utilizados na agricultura, construção civil, militar, entre outras. No entanto, ainda sim vários produtos continuam sendo utilizados mesmo após saírem de linha do fabricante, o que movimenta o mercado de peças de reposição e até mesmo o mercado de peças paralelas. Com isso, as informações técnicas a respeito das características do material, desenho técnico e especificações acabam não estando mais disponíveis, o que afeta a qualidade e confiabilidade dos componentes. Neste contexto, o objetivo do TCC é saber como aplicar a ferramenta de Engenharia Reversa em um componente do sistema de tração por esteira do blindado Leopard 1A5-BR. Para a realização deste trabalho serão utilizados as ferramentas e métodos necessários para obter toda caracterização dimensional, elaboração do desenho técnico e quais tipos de ensaios necessários para gerar o relatório de composição química adequado para os ensaios de corpo de prova. Como resultado, espera-se obter um pacote de engenharia que consiste na entrega de toda propriedade mecânica do material necessária para a fabricação, não deixando de validar a efetividade de redução de custos e tempo de produção utilizando a ferramenta da engenharia reversa.

Palavras-chave: Informações Técnicas. Engenharia Reversa. Efetividade.

ABSTRACT

REVERSE ENGINEERING STUDY IN COMPONENT OF SYSTEM OF PER CONVEYOR TRACTION OF THE LEOPARD 1A5-BR ARMORED

AUTHOR: Fausto Alencar Vaz Machado Chaves

ADVISOR: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos

In the past years, worldwide have produced millions of products and machine parts. Due to continuous advances in technology, the lifecycle of products has become increasingly shorter. This scenario includes heavy machinery and equipment used in agriculture, construction, military, among other fields. However, many products continue to be utilized even after being discontinued by the manufacturers, driving the market for replacement parts and even aftermarket parts. Consequently, technical information regarding material characteristics, technical drawings, and specifications may no longer be available, impacting the quality and reliability of components. In this context, the aim of the thesis is to explore the application of Reverse Engineering in a component of the propulsion system in the Leopard 1A5-BR. To accomplish this task, the necessary tools and methods will be employed to obtain dimensional characterization, develop technical drawings, and determine the types of tests required to generate an appropriate chemical composition report for specimen testing. The expected outcome is to obtain an engineering package consisting of the delivery of all the mechanical properties of the material necessary for manufacturing, while validating the effectiveness of reducing costs and production time using the reverse engineering tool.

Keywords: Technical Information. Reverse Engineering. Effectiveness

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo simplificado de produção.....	16
Figura 2 - Sistema de tração por lagarta.....	34
Figura 3 - Tridimensional	35
Figura 4 - Amostra da engrenagem.....	35
Figura 5 - Serra fita horizontal	36
Figura 6 - Torno convencional.....	36
Figura 7 - Disco para ensaio.....	37
Figura 8 - Retífica copo.....	37
Figura 9 - Equipamento para ensaio de espectrometria.....	38
Figura 10 - Corpo de prova barra circular.....	38
Figura 11 - Durômetro HRB.....	39
Figura 12 - Corpo de prova no molde.....	39
Figura 13 - Embutimento da amostra retangular.....	40
Figura 14 - Lixas.....	40
Figura 15 - Politriz.....	41
Figura 16 - Capela de química com exaustão.....	41
Figura 17 - Microscópio óptico de varredura.....	42
Figura 18 - Barra retangular para ensaio de charpy.....	42
Figura 19 - Equipamento para ensaio de charpy.....	43
Figura 20 - Classificação dos aços.....	45
Figura 21 - Gráfico de tensão x escoamento.....	47
Figura 22 - Corpo de prova para ensaio de dureza HRB.....	47
Figura 23 - Ensaio metalográfico zoom 500x.....	48
Figura 24 - Ensaio metalográfico zoom 100x.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do ensaio de espectrômetro.....	44
Tabela 2 – Dados do ensaio de tração.....	46
Tabela 3 – Dados do Ensaio de charpy.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ER	Engenharia Reversa
TGA	Análise Termogravimétrica
FTIR	Espectroscopia Infravermelho
GC	Cromatografia Gasosa
3D	Três Dimensões
DAC	Desenho Assistido por Computador
XRF	Espectrômetro de Fluorescência de Raio X
XRD	Espectrômetro de Difração de Raio X
XPS	Espectrômetro de Fotoelétrons de Raio X
MO	Microscópio óptico
MEV	Microscópio eletrônico por varredura
LADIPP	Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento e a Inovação de Produtos e Processo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivo específico.....	14
1.2	JUSTIFICATIVA.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	A PRODUÇÃO DO AÇO.....	16
2.1.1	Propriedades do aço.....	17
2.2	DUREZA DOS METAIS.....	18
2.2.1	Macro dureza.....	18
2.2.2	Micro dureza.....	18
2.3	FATORES QUE AFETAM NA DUREZA DO METAL.....	19
2.3.1	Teste de dureza Brinell.....	19
2.3.2	Teste de dureza Vickers.....	20
2.3.3	Teste de dureza Rockwell.....	20
2.4	TRATAMENTO TÉRMICO.....	21
2.4.1	Recozimento.....	21
2.4.2	Normalização.....	22
2.4.3	Têmpera.....	22
2.4.4	Revenimento.....	23
2.5	METALOGRAFIA.....	23
2.5.1	Microestrutura.....	24
2.5.2	Preparação das amostras.....	24
2.5.2.1	Corte e lixamento das amostras.....	24
2.5.2.2	Embutimento das amostras.....	25
2.5.2.3	Lixamento e polimento das amostras.....	25
2.5.2.4	Ataque químico das amostras.....	25
2.5.3	Análise metalográfica.....	26
2.6	OXIDAÇÃO DOS METAIS	26
2.6.1	Análise de oxidação.....	27

2.7	DESENHO MECÂNICO.....	27
2.7.1	Ferramentas 3D.....	28
2.7.2	Modelagem tridimensional.....	29
2.8	ESPECTRÔMETRO.....	29
2.8.1	Espectrômetro de raio x.....	29
2.9	ENSAIO DE TRAÇÃO.....	31
2.10	ENSAIO DE CHARPY.....	31
2.11	SISTEMA DE TRAÇÃO VEICULAR.....	31
2.12	SISTEMA DE TRAÇÃO POR LAGARTA.....	32
2.12.1	Esteiras.....	32
2.12.2	Rodas tensionadoras.....	33
2.12.3	Roda motriz.....	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.1	COMPONENTE ESTUDO DE CASO.....	34
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA.....	35
3.3	PREPARO DAS AMOSTRAS.....	35
3.3.1	Preparação para ensaio de espectrômetro.....	36
3.3.2	Preparação para ensaio de tração.....	38
3.3.3	Preparação para ensaio de dureza.....	39
3.3.4	Preparação para ensaio de metalografia.....	39
3.3.5	Preparação para ensaio de charpy.....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1	Ensaio de espectrômetro.....	44
4.2	Ensaio de tração.....	45
4.3	Ensaio de dureza.....	47
4.4	Ensaio de metalografia.....	48
4.5	Ensaio de charpy.....	49
5	CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
	ANEXOS.....	56

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica da indústria e a entrada na nova revolução industrial abriram as portas para a chamada Indústria 4.0 e a disputa pelo domínio do mercado nesse tipo de indústria tem afetado diretamente a participação da engenharia no desenvolvimento de novos produtos, melhoria dos processos produtivos, tudo com a melhor otimização de tempo possível. Para atender a esses requisitos, uma nova técnica de aplicação de conceitos de engenharia, conhecida como Engenharia Reversa (ER), torna-se essencial na avaliação de componentes e produtos já existentes (BOLGENHAGEN, 2003).

A ER é uma técnica utilizada para compreender o funcionamento de um produto por meio da análise de algum componente já existente, (AVIS, 2010). Ou seja, é preciso fazer o processo de forma inversa para identificar e entender como foi confeccionado e quais materiais empregados em sua fabricação.

A ER é uma ferramenta que tem como objetivo compreender e analisar o funcionamento de produtos e sistemas já existentes, com o intuito de melhorá-los ou desenvolver novos produtos a partir daquela análise.

De acordo com Cunha, Silva e Lopes (2001, 2003 e 2022), existem duas abordagens para a ER: na primeira é a aplicação da ER em produtos da própria empresa, para conseguir aprimorá-los; por fim, a segunda é a aplicação em produtos da concorrência, para analisar os princípios de funcionamento e a tecnologia disponível.

Portanto, vários estudos recentes provam ampla aplicação de ER no cenário atual, explorando a sua capacidade de uso e importância na engenharia. Desse modo, a aplicação da ER na Engenharia Mecânica tem sido cada vez mais frequente, tendo em vista que ela permite aos engenheiros avaliar o desempenho e identificar pontos fracos em peças e componentes mecânicos, proporcionando assim soluções para sua otimização. Assim, a ER modela uma área voltada à análise de projetos, visando detectar os problemas ocorridos e afirmar o melhoramento contínuo (NASCIMENTO; MEDEIROS; DANTAS, 2023).

Em suma, a ER está ligada diretamente à análise de um projeto, considerando os aspectos técnicos. Também, a ER é uma técnica de desenvolvimento de produto que começa com um produto ou protótipo já construído e depois aplica as etapas do processo de produção na ordem inversa, como explicado por Bolgenhagen (2003).

Uma das principais técnicas do estado da arte utilizadas para desenvolvimento ou adaptação de produtos é a ER, assunto pouco discutido, mas muito difundido nos países onde a

tecnologia foi produzida, pois muitas vezes é confundido com a cópia ilegal de produtos (MURY, 2002).

No cenário atual onde a competitividade é de suma importância para as organizações, a ER encontra seu espaço como uma das técnicas que tornam os sistemas produtivos mais ágeis e flexíveis. Além da indústria, a ER beneficiou outras áreas como educação, artes e medicina em conjunto com outras técnicas como tomografia computadorizada e prototipagem rápida. (LIMA; THALES, 2003 apud PONTICELLI, 2011).

O objetivo desta pesquisa é compreender a ER no desenvolvimento de peças-componentes mecânicos, aplicando a ferramenta para analisar um componente do sistema de tração por esteira do blindado Leopard 1A5-BR, analisando as técnicas e métodos utilizados, bem como avaliando sua eficiência e impacto no processo de produção (ALBUQUERQUE, 2018).

O sistema de tração por esteira é uma tecnologia bem antiga que tem sido utilizada em diversos tipos de veículos, desde tanques de guerra até tratores agrícolas. A ideia básica por trás desse sistema é utilizar uma série de roletes interligados por uma esteira para mover o veículo sobre terrenos difíceis (MIALHE, 1980).

Embora a tecnologia seja relativamente simples, ela tem muitas vantagens em relação a outros tipos de sistemas de tração. Por exemplo, os veículos com esteiras podem se mover sobre terrenos lamacentos ou cobertos de neve com muito mais facilidade do que os veículos com rodas (MIALHE, 1980).

O sistema de tração por esteira tem muitas aplicações práticas em uma variedade de setores, na indústria militar, ele é frequentemente usado em tanques de guerra e veículos blindados, permitindo que esses veículos se movam sobre terrenos difíceis e resistam a ataques inimigos (ALBUQUERQUE, 2018),

Na agricultura segundo Mialhe (1980), os tratores com esteiras são usados para arar campos e transportar colheitas em terrenos irregulares ou lamacentos. Eles também são usados em operações de construção, mineração e exploração de petróleo e gás, onde a capacidade de se mover sobre terrenos difíceis é essencial.

A importância desta pesquisa reside na necessidade de se compreender melhor a aplicabilidade da ER no ramo da Engenharia Mecânica, bem como em contribuir para o desenvolvimento de novos métodos e técnicas, que possam ser utilizados para a otimização do desempenho e a redução de tempo e custos na produção de peças-componentes mecânicos.

A qualidade, eficiência e usabilidade dos equipamentos mecânicos estão diretamente relacionadas com a aprovação e validação das especificações do projeto, mas em certos casos

onde tal documentação não está disponível, o uso de técnicas de ER é indispensável. A partir desses aspectos e necessidades, este estudo utiliza técnicas de ER para analisar os dados qualitativos do sistema, assim como, suas aplicações em qualquer componente mecânico.

Ainda, segundo Elanchezhian (2018), optou-se pela ER como um estudo de análises no comportamento e formato da peça. Portanto, este projeto de conclusão de curso visa realizar a engenharia reversa do componente do sistema de tração por esteira, podendo assim, copiar de maneira fidedigna, definindo todo seu desenho técnico, seu processo de manufatura e tratamento térmico obtido, à fim de padronizar a fabricação desse componente, podendo até mesmo encontrar materiais com especificações iguais ou melhores que os originais, sendo mais viável economicamente a sua produção.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Objetivo geral deste trabalho é executar a Engenharia Reversa em um componente de tração por esteira do blindado Leopard 1A5-BR.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estudar os conceitos da Engenharia Reversa;
- Identificar as atividades que são realizadas na Engenharia Reversa no desenvolvimento de peças-componentes mecânicos;
- Definir uma sequência de etapas de Engenharia Reversa para aplicar no componente estudo de caso.

1.2 JUSTIFICATIVA

A Engenharia Reversa tem sido amplamente utilizada na indústria mecânica como uma ferramenta valiosa para a análise, melhoria e desenvolvimento de peças-componentes. Ela permite aos engenheiros avaliar e compreender o funcionamento de peças já existentes, identificando pontos fracos e sugerindo soluções para melhorar o desempenho e a eficiência dessas peças, também gerando as características mecânicas e químicas daquelas peças que não possuem nenhum dado disponível no mercado, devido ao longo tempo de produção.

Além disso, a Engenharia Reversa também é importante para a otimização do processo de produção de peças-componentes mecânicos, permitindo a redução de tempo e custos, bem como a criação de soluções eficientes e inovadoras para os desafios da indústria. Dessa forma, uma pesquisa sobre Engenharia Reversa no ramo da Engenharia Mecânica é importante porque pode contribuir para o desenvolvimento de novos métodos e técnicas desse processo, bem como para a compreensão da sua aplicabilidade na área de peças-componentes mecânicos. Essa pesquisa pode ainda conduzir a avanços significativos na indústria, melhorando o desempenho e a eficiência das peças-componentes produzidas e, conseqüentemente, contribuindo para o crescimento e desenvolvimento da indústria mecânica.

Pelo fato de haver necessidade de importação de algumas peças de máquinas ou equipamentos para o conserto dos mesmos, que no caso os preços são abusivos e outros não há mais componentes e nem desenho técnico disponível no mercado devido à antiguidade de fabricação, se faz necessário esse estudo da Engenharia Reversa na Engenharia Mecânica.

Conforme Lima (2003), a maior aplicação da Engenharia Reversa está voltada ao mercado industrial. Devido à alta competitividade, as empresas precisam manter os custos baixos e aumentar a qualidade dos produtos e por isso utilizam a Engenharia Reversa, para poder encurtar o ciclo produtivo que vai do projeto até a manufatura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir do tema escolhido iniciou-se uma busca sobre o tema descrito na introdução deste trabalho, tendo como referência artigos, teses e livros publicados a respeito do assunto, para melhor entendimento foi dividido em tópicos.

2.1 A PRODUÇÃO DO AÇO

A produção de aço remonta à antiguidade, com a utilização de forjas para moldar o metal, no entanto, foi somente no século XIX que o processo de produção em larga escala se tornou possível, com a invenção do forno Bessemer e outras tecnologias.

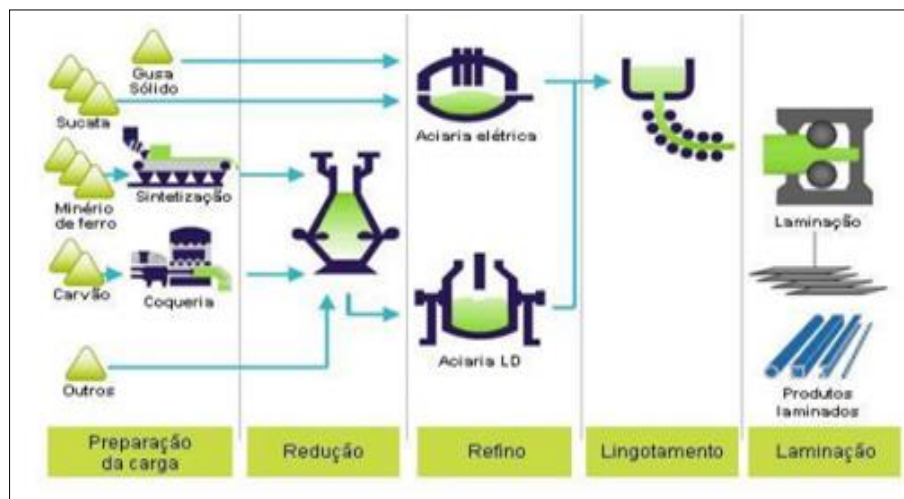
O início da utilização e seu processo de aperfeiçoamento do aço, junto com seus desafios representaram uma enorme conquista para a civilização (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011).

A produção de aço envolve diversos processos, desde a extração do minério de ferro até a fabricação do produto final, o primeiro passo é a mineração do minério, que é transportado para siderúrgicas onde é transformado em ferro-gusa (FOGAÇA, 2023).

O ferro-gusa é então convertido em aço através de processos de refino, que envolvem a remoção de impurezas e a adição de outros elementos químicos. O aço resultante é então moldado em lingotes, placas, barras ou outros formatos, dependendo da aplicação desejada.

Cada vez mais com avanço da tecnologia, as fases de redução, refino e laminação conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, estão cada vez mais veloz em sua produção (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2011).

Figura 1: Fluxo Simplificado de produção



Fonte: Instituto de aço Brasil, 2009

De acordo com Fogaça (2023), o aço é um material amplamente utilizado na indústria de construção, automotiva e de maquinaria, sendo uma liga de ferro e carbono, com teor de carbono variando de 0,002% a 2,1%. Além disso, outros elementos como manganês, silício, níquel, cromo e enxofre são adicionados para melhorar as propriedades do aço.

Desde então, o aço tem sido fundamental para o desenvolvimento da indústria e da infraestrutura, sendo amplamente utilizado na construção de edifícios, pontes e outras estruturas devido à sua resistência e durabilidade, sendo também usado na fabricação de veículos e seus componentes, desde carros até aviões e outras aplicações incluem maquinaria industrial, tubos e dutos de transporte de fluidos (FOGAÇA, 2023).

De todos os metais utilizados pela sociedade fabril, o aço simboliza aproximadamente 90% da produção, em virtude de suas ótimas propriedades e baixos custos. (FELÍCIO, 2012).

2.1.1 Propriedades do aço

O aço tem diversas propriedades que o tornam um material ideal para uso em várias aplicações industriais devido sua durabilidade e resistência à corrosão e pode ser facilmente moldado em diferentes formas (FOGAÇA, 2023).

Os principais elementos de liga são: cromo e níquel para aços inoxidáveis; molibdênio, tungstênio e vanádio para aços-ferramenta (CALLISTER, 2008).

As propriedades do aço podem ser alteradas pela adição de diferentes elementos de liga ou pelo tratamento térmico. Por exemplo, a adição de cromo pode aumentar a resistência à corrosão do aço, enquanto o tratamento térmico pode aumentar a dureza e a resistência à tração (FOGAÇA, 2023).

O aço é um material versátil que pode ser facilmente moldado em diferentes formas, tornando-o ideal para uma ampla gama de aplicações, além disso, as propriedades do aço podem ser ajustadas para atender às necessidades específicas de cada aplicação.

Uma de suas propriedades importantes é a usinabilidade, no qual se refere a facilidade com que o aço pode ser usinado para formar peças com precisão dimensional e acabamento superficial desejados.

2.2 DUREZA DOS METAIS

A dureza é uma propriedade mecânica dos materiais que se refere à resistência de deformação plástica de um material ao ser riscado, deformado ou penetrado por outro corpo externo (COSTA, 2009).

Sendo que a marca deixada na superfície do material está diretamente relacionada com a dureza do mesmo, com característica da marca e carga aplicada. Segundo Costa (2009), quanto maior dureza, menor será a marca deixada para uma mesma carga e vice-versa.

Existem diferentes tipos de dureza que são usados para medir a resistência de materiais a deformação plástica, que são medidas em escalas distintas e possuem aplicações específicas, ensaios que podem ser feitos através de dureza Brinell, Rockwell e Vickers (PADILHA, 2008).

Além disso, a dureza dos metais está diretamente relacionada com sua microestrutura, composição química e tratamentos térmicos, por isso, é fundamental entender os diferentes fatores que influenciam na dureza dos metais para escolher o material mais adequado para cada aplicação (PADILHA, 2008),

2.2.1 Macro dureza

Essa técnica é comumente utilizada para avaliar a dureza de materiais com seções transversais maiores, como peças de máquinas e estruturas metálicas.

A macro dureza é expressa em uma escala específica associada ao método de teste de dureza, sendo que é uma propriedade mecânica que irá medir a resistência do material ao alcançar sua deformação plástica, causada por um penetrador de geometria definida que irá ser aplicada sobre o material ensaiado (RIBEIRO, 2006).

2.2.2 Micro dureza

Ensaio utilizado para analisar a estrutura cristalina de metais, cerâmicas e polímeros, e avaliar suas propriedades mecânicas em pequena escala. A micro dureza é medida em escalas menores do que a macro dureza, geralmente expressas em escalas que envolvem medidas na faixa de micrômetros Ribeiro(2006).

Segundo Padilha (2008), a microdureza de um material é uma propriedade complexa que é influenciada por vários fatores relacionados à sua estrutura cristalina, composição química e também pela presença de defeitos.

2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA DUREZA DO METAL

A microestrutura é um dos principais fatores que influenciam na dureza dos metais, por exemplo, metais com microestrutura fina e homogênea tendem a ter maior dureza do que aqueles com microestrutura grosseira e heterogênea (CARLOS, 2020).

Segundo Carlos (2020), outros fatores que afetam a dureza dos metais são a composição química, a presença de impurezas, o grau de encruamento do metal base e a temperatura de trabalho. Por isso, é importante considerar esses aspectos ao escolher um material para uma determinada aplicação.

O teste de dureza é uma técnica utilizada para medir a resistência de um material à deformação permanente, ele é amplamente utilizado na indústria para avaliar a resistência e assim determinar a qualidade e a durabilidade de diferentes materiais, incluindo metais, plásticos, cerâmicas e compósitos.

Os principais ensaios de dureza empregados tanto na indústria quanto no meio acadêmico são: Rockwell, Brinell e Vickers (CALLISTER, 2008).

Existem vários métodos de teste de dureza disponíveis, cada um com suas próprias vantagens e limitações. Alguns dos métodos mais comuns incluem o teste de dureza Brinell, o teste de dureza Vickers e o teste de dureza Rockwell, cada método é baseado em uma abordagem diferente para aplicar carga ao material e medir a profundidade ou a área da impressão resultante.

Sendo os testes de dureza Brinell e Rockwell também denominados macrodurezas que para determinar a análise, utilizam uma área extensa e por esse motivo são mais comuns na indústria para análise de dureza, conforme é descrito em Anusavice (2005).

2.3.1 Teste de dureza Brinell

O teste de dureza Brinell é realizado aplicando uma carga conhecida a uma esfera de aço endurecido ou carboneto tungstênio, que é pressionada durante um tempo contra a

superfície do material, criando uma impressão de calota esférica na superfície do material testado. A carga é mantida por um período de tempo específico e, em seguida removida, deixando uma impressão resultante que é medida para determinar a dureza do material (GUIBERT, 2000).

De acordo com Guibert (2000), este método é adequado para materiais relativamente macios, no entanto, ele não é adequado para materiais muito duros ou muito finos, pois pode causar deformações permanentes excessivas.

2.3.2 Teste de dureza Vickers

De acordo com Souza (1982), o teste de dureza Vickers é semelhante ao teste de dureza Brinell, mas usa um penetrador de diamante em forma de pirâmide com base quadrada e ângulo de 136° entre suas faces em vez de uma esfera. Isso permite a realização de testes em materiais mais duros e mais finos, com maior precisão e menor deformação permanente.

Sendo essa ponta de diamante, pode-se considerar indeformável o penetrador e tendo todas penetrações semelhantes durante qualquer teste. A carga é lentamente aplicada e mantida na superfície do material pelo tempo determinado de 18 segundos, sendo aplicada a carga que pode variar de 1 a 120 Kgf (SOUZA, 1982).

Este método é amplamente utilizado em laboratórios de controle de qualidade e em aplicações de pesquisa e desenvolvimento devido à sua versatilidade e precisão, sendo capaz de testar uma ampla variedade de materiais (SOUZA, 1982).

2.3.3 Teste de dureza Rockwell

O teste de dureza Rockwell é um método rápido e fácil de realizar, que usa uma ponta de diamante com ângulo de 120° ligeiramente arredondada ou uma esfera de aço endurecido geralmente com diamante 1,59 mm para aplicar uma carga ao material que está sendo testado (GARCIA, 2000). A profundidade da impressão resultante é medida e comparada a uma escala padrão para determinar a dureza do material.

Este método é amplamente utilizado na indústria devido à sua simplicidade e rapidez, sendo indicado para uma variedade de peças e materiais por ser um teste não destrutivo (GARCIA, 2000).

2.4 TRATAMENTO TÉRMICO

Os aços podem ter uma ampla variedade de propriedades mecânicas para as diversas aplicações na indústria, no qual podem resistir a esforços de tração, compressão e flexão. As características podem ser alteradas através de intervenções de temperaturas ou por processos químicos (FERRAZ, 2003).

O tratamento térmico é um processo utilizado para alterar as propriedades físicas e mecânicas de um material, por meio do controle da temperatura e tempo de exposição ao calor, esse processo pode ser realizado em diversos materiais, como metais, polímeros e cerâmicas.

Segundo Costa e Silva e Mei (2010), para alterar as características de aços e ligas especiais, os materiais são expostos à tratamentos térmicos, no qual são operações de aquecimento e resfriamento controlados.

Existem diversas técnicas de tratamento térmico, cada uma com suas particularidades e objetivos específicos de acordo com as suas aplicações, entre elas, destacam-se o recozimento, normalização, têmpera e revenimento.

2.4.1 Recozimento

O recozimento é uma técnica de tratamento térmico utilizada para relaxar as tensões internas em um material, reduzindo sua dureza e tornando-o mais maleável e fácil de ser trabalhado. Esse processo consiste em aquecer o material até uma temperatura específica abaixo de sua temperatura de fusão e mantê-lo nessa temperatura por um determinado período de tempo, seguido de um resfriamento controlado (KWIETNIEWSKI, 2014).

Após esse período, o material é resfriado lentamente até a temperatura ambiente, reduzindo sua dureza e aumentando a ductilidade.

O recozimento pode ser aplicado em diversos materiais, como aços, cobre e alumínio, e é frequentemente utilizado na indústria metalúrgica para aliviar tensões internas, melhorar a maleabilidade e as propriedades mecânicas dos materiais. Sendo que a resposta para alívio de tensões pode ser representada graficamente através de curvas que mostram como as propriedades do material mudam com a temperatura e o tempo de tratamento térmico (KWIETNIEWSKI, 2014).

2.4.2 Normalização

A normalização é uma técnica de tratamento térmico que pode melhorar a resistência mecânica do aço, a sua tenacidade e ajudar a reduzir as tensões residuais no material.

Segundo Copaert (2008), o tratamento térmico de normalização é indicado para obter uma estrutura refinada e homogênea, no qual os aços submetidos a esse tratamento irão ter uma melhora na resistência e tenacidade quando submetidos a trabalhos convencionais a quente, como forjamento, laminação e estampagem, onde as propriedades mecânicas e a estabilidade dimensional do material são importantes.

Esse processo consiste em aquecer o material até uma temperatura acima de sua temperatura crítica e mantê-lo nessa temperatura por um determinado período de tempo.

Em seguida, o material é resfriado ao ar livre ou em um ambiente controlado. A normalização é frequentemente utilizada na indústria siderúrgica para produzir aços com uma estrutura mais uniforme e refinada no material (COPAERT, 2008).

2.4.3 Têmpera

A têmpera é uma técnica de tratamento térmico utilizada para aumentar a dureza e resistência mecânica de um material. Esse processo consiste em aquecer o material até uma temperatura acima de sua temperatura crítica onde toda sua estrutura seja transformada em austenita e resfriá-lo rapidamente em um meio de resfriamento, como água, ar ou óleo para aumentar a sua dureza, de modo a impedir a formação de fases mais estáveis e menos duras como a ferrita e a perlita.

Segundo Silva e Mei (2010), esse tratamento térmico produz uma estrutura metaestável chamada martensita, que é muito dura e frágil.

Esse rápido resfriamento faz com que o material se torne mais duro, mas também mais frágil. Por isso, é comum realizar um processo de revenimento após a têmpera, para reduzir a fragilidade e melhorar a tenacidade do material (SILVA E MEI, 2010).

O resultado da têmpera é um material mais duro e resistente, com uma estrutura cristalina fina e uniforme, no entanto, o material também pode se tornar mais frágil, especialmente se a têmpera for feita de forma excessiva (SILVA E MEI, 2010).

2.4.4 Revenimento

O revenimento é uma técnica de tratamento térmico utilizada frequentemente na indústria automotiva e espacial, para melhorar a tenacidade de um material que passou pelo processo de têmpera.

Esse processo consiste em reaquecer o material até uma temperatura abaixo de sua temperatura crítica e mantê-lo nessa temperatura por um determinado período de tempo, aliviando suas tensões internas e promovendo a precipitação de carbonetos.

O objetivo do revenimento é reduzir a dureza excessiva do material e melhorar sua ductilidade e tenacidade, sendo que a estrutura resultante é conhecida como martensita revenida no qual não contém martensita, que segundo Kwietniewski (2014), essa estrutura resultante é composta por partículas finas de carbonetos em uma matriz ferrítica.

2.5 METALOGRAFIA

A metalografia é uma técnica utilizada para analisar a microestrutura dos metais, ela envolve o estudo da composição química, das propriedades mecânicas e das características físicas dos materiais metálicos.

Essa análise tem muitas aplicações práticas em diversas áreas da engenharia e ciência dos materiais, por exemplo, ela pode ser usada para avaliar a qualidade do material em processos de fabricação, investigar falhas em componentes mecânicos e desenvolver novas ligas metálicas com propriedades específicas. Além disso, a metalografia também é amplamente utilizada na pesquisa acadêmica para estudar a estrutura e propriedades dos metais em nível microscópico, sendo de grande importância na engenharia em geral (ASM HANDBOOK, 2004).

Geralmente, a metalografia é realizada em amostras convenientemente dimensionada de metal que foram cortadas, embutidas se necessário, polidas e atacadas com substâncias químicas para revelar sua microestrutura, as amostras são avaliadas em um microscópio óptico (MO) ou microscópio eletrônico de varredura (MEV) para identificar as diferentes fases e constituintes presentes no material. (ASM HANDBOOK, 2004).

2.5.1 Microestrutura

Existem vários tipos de microestruturas metálicas que podem ser identificadas através da metalografia, alguns exemplos incluem a estrutura dendrítica, a estrutura equiaxial, a estrutura colunar e a estrutura lamelar (CALLISTER, 2007).

Cada tipo de microestrutura tem suas próprias características e propriedades mecânicas únicas. Por exemplo, a estrutura dendrítica é uma estrutura ramificada que pode se formar durante o processo de solidificação de algumas ligas metálicas, sendo comumente observada em ligas que solidificam rapidamente a partir do estado líquido.

Segundo Callister (2007) para compreender a correlação entre microestrutura e as propriedades mecânicas da liga de ferro, se obtêm através do diagrama de fases Ferro / Carbono.

2.5.2 Preparação de amostras

Para que a análise metalográfica seja precisa e confiável, é necessário seguir algumas normas específicas para a preparação das amostras. Essas normas incluem desde a avaliação da região de corte da amostra até a sua montagem no suporte para polimento, sendo muito importante seguir cada etapa com cuidado e atenção para garantir a qualidade dos resultados obtidos (FAZANO, 1980).

A preparação de amostras para metalografia é um processo crítico que envolve etapas como corte, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico segundo Fazano (1980) e cada etapa deve ser cuidadosamente controlada para garantir que a amostra não seja danificada ou contaminada durante o processo de preparação.

2.5.2.1 Corte e lixamento da amostra

O primeiro passo na preparação de uma amostra para metalografia é o corte, no qual a amostra deve ser cortada com uma serra de corte a frio, evitando o superaquecimento do material. O corte deve ser feito em um ângulo de 90 graus em relação à superfície da peça para garantir uma seção transversal limpa e sem distorções.

Após o corte, a amostra deve ser lixada com uma lixa grossa para remover as marcas irregulares deixadas pela serra e garantir uma superfície plana e uniforme para a etapa posterior de polimento (HANDBOOK, 1995).

2.5.2.2 Embutimento da amostra

Após a etapa de cortar, o próximo passo é embutir a amostra em resina poliéster e líquido auto polimerizante. O objetivo é proteger a amostra durante o processo de lixamento e garantir que ela fique plana e nivelada para o polimento e análise (FAZANO, 1980).

Conforme Fazano (1980), para isso, a amostra é colocada em um molde e preenchida com a resina, em seguida, a resina é deixada para endurecer antes de ser desmoldada e cortada em um tamanho adequado para o suporte de polimento.

2.5.2.3 Lixamento e polimento da amostra

Após o embutimento, a amostra está pronta para ser lixada e polida. O objetivo aqui é remover as imperfeições deixadas pelas pelo corte e lixamento, para assim obter uma superfície lisa e brilhante.

O polimento é realizado por uma máquina politriz em várias etapas, no qual é utilizado agente polidor como alumina e álcool para dissolver a alumina (FAZANO, 1980).

2.5.2.4 Ataque químico

Após o polimento, a amostra pode ser submetida a um ataque químico para revelar a sua microestrutura. Esse processo consiste em imergir a amostra em um reagente químico que irá corroer seletivamente certas áreas da superfície, revelando sua estrutura cristalina.

Segundo Coutinho (1980) os reagentes químicos mais comuns para esse fim são ácidos nítrico, clorídrico e sulfúrico e cada material requer um tipo específico de reagente e tempo de imersão adequado para obter os melhores resultados.

2.5.3 Análise metalográfica

Além das técnicas básicas de preparação de amostras e análise microestrutural, existem várias técnicas avançadas de metalografia disponíveis. Algumas dessas técnicas incluem a microscopia eletrônica de transmissão, a difração de raios-X e a espectroscopia de energia dispersiva (COLPAERT, 1974).

Essas técnicas permitem uma análise mais detalhada e precisa da estrutura e composição dos materiais metálicos, permitindo uma melhor compreensão de suas propriedades e comportamento mecânico.

Cada técnica tem suas próprias vantagens e desvantagens, e a escolha da técnica adequada depende das características do material a ser analisado.

A interpretação dos resultados metalográficos requer conhecimentos sólidos em metalurgia, física e química (COLPAERT, 1974).

Os resultados podem fornecer informações valiosas sobre a qualidade do material, a eficácia do tratamento térmico e a presença de defeitos ou falhas no material.

2.6 OXIDAÇÃO DE METAIS

A oxidação é um processo químico que envolve a perda de elétrons por um átomo ou molécula, formando íons metálicos e, em seguida combina-se com os íons de oxigênio para formar óxidos, podendo causar falhas no produto. Esse processo pode ocorrer naturalmente, como na corrosão de metais expostos ao ar e à água, ou ser induzido artificialmente, como na queima de combustíveis fósseis (HENRICH, 1994).

De acordo com Henrich (1994), a oxidação pode ter efeitos benéficos ou prejudiciais, dependendo do contexto em que ocorre, por exemplo, a oxidação controlada de metais pode resultar em uma camada protetora que impede a corrosão futura.

A oxidação é uma forma comum de corrosão, onde a camada de óxido formada na superfície do metal pode ser porosa e permitir a entrada de mais oxigênio e umidade, acelerando o processo de corrosão (IUPAC, 2014).

Existem vários mecanismos pelos quais a oxidação pode ocorrer, um dos mais comuns é a oxidação pelo oxigênio atmosférico, que pode levar à formação de radicais livres e outros compostos reativos (IUPAC, 2014).

2.6.1 Análise de oxidação

A análise de oxidação é uma técnica utilizada para determinar a estabilidade oxidativa de um material. É importante em muitas indústrias, incluindo alimentos, plásticos, borrachas, tintas e vernizes, entre outras. É uma ferramenta valiosa para avaliar a qualidade e a durabilidade dos materiais e produtos acabados (GUIMARÃES, 2013).

A análise de oxidação geralmente envolve a exposição do material a condições de oxidação controladas e a medição das mudanças nas propriedades físicas e químicas ao longo do tempo. Isso permite que os pesquisadores determinem o tempo necessário para que ocorra a oxidação e as mudanças na composição química do material (HENRICH, 1994).

Existem várias técnicas diferentes que podem ser usadas para analisar a oxidação de um material. Alguns exemplos incluem a análise termogravimétrica (TGA), a espectroscopia infravermelha (FTIR) e a cromatografia gasosa (GC). Cada uma dessas técnicas tem suas próprias vantagens e desvantagens, dependendo do material sendo estudado e dos objetivos da análise.

A TGA é uma técnica que mede a perda de massa de um material quando aquecido a uma taxa constante, isso pode ser usado para determinar a temperatura de decomposição do material e a quantidade de produtos de decomposição liberados durante a oxidação (DAMARTZIS, 2011).

A FTIR é uma técnica que usa a absorção de infravermelho para identificar grupos funcionais em moléculas, permitindo a análise da composição química do material em análise (MORAIS, 2005).

A GC é uma técnica que separa os componentes de uma mistura com base em suas propriedades físicas e químicas, permitindo a análise da composição química do material em detalhes (VALENTE, 1983).

2.7 DESENHO MECÂNICO

O desenho mecânico é uma técnica de representação gráfica utilizada para transmitir informações sobre projetos de engenharia e arquitetura, de forma clara e objetiva, evitando erros e retrabalhos durante o processo de produção. Ele é utilizado para representar objetos tridimensionais em duas dimensões, permitindo que os projetistas visualizem o objeto a partir de diferentes perspectivas (SANTANA, 2005).

Existem vários tipos de desenho mecânico, cada um com seu objetivo e sua finalidade específica. Alguns exemplos incluem desenho de conjunto, desenho de detalhe, desenho de montagem e desenho de peça (OLIVEIRA, 2007).

O desenho de conjunto é usado para representar um conjunto completo de peças, enquanto o desenho de detalhe é usado para mostrar uma parte específica em mais detalhes. O desenho de montagem é utilizado para mostrar como as peças se encaixam e o desenho de peça é usado para representar uma única peça em detalhes. Atualmente muitos desenhos mecânicos são criados usando software de DAC (Desenho Assistido por Computador), software que permite aos projetistas criarem desenhos precisos em menos tempo e com maior facilidade do que o desenho manual (MOREIRA, 2015).

Segundo Fialho (2009), algumas ferramentas populares de DAC incluem AutoCAD, SolidWorks e CATIA, esses programas permitem que os usuários criem desenhos em duas ou três dimensões, adicionem anotações e símbolos, e gerem listas de materiais e outras informações úteis para a fabricação e montagem do objeto.

2.7.1 Ferramentas 3 dimensões

O desenho 3D é uma técnica que permite criar modelos tridimensionais de objetos e cenários com a ajuda de ferramentas digitais. Essas ferramentas oferecem uma ampla variedade de recursos para modelagem, texturização, iluminação e animação (AZEVEDO,2003).

Segundo Fialho (2003), entre as principais ferramentas de desenho 3D, destacam-se os softwares Blender, Autodesk Maya e 3ds Max. Cada um desses programas possui suas próprias características e funcionalidades, permitindo aos usuários escolher a opção mais adequada para suas necessidades.

2.7.2 Modelagem tridimensional

A modelagem em 3D é o processo de criação de objetos tridimensionais a partir de formas básicas, como cubos, esferas e cilindros. As ferramentas de desenho 3D permitem que os usuários criem modelos complexos com grande precisão e detalhamento (FILHO,2014).

A tridimensionalidade é uma técnica de representação gráfica que permite a visualização de objetos em três dimensões, ou seja, comprimento, largura e altura. Na engenharia, essa técnica é amplamente utilizada para o desenvolvimento de projetos e protótipos (FILHO,2014).

Segundo Garbin (2014), com a tridimensionalidade, é possível criar modelos virtuais que simulam o comportamento dos objetos no mundo real, permitindo aos engenheiros analisar e testar as soluções propostas antes de sua implementação física, isso reduz os riscos e custos envolvidos nos projetos, além de aumentar a eficiência e qualidade das soluções desenvolvidas.

Além disso, essas ferramentas também oferecem recursos avançados de escultura digital, permitindo que os usuários moldem seus modelos como se estivessem trabalhando com argila ou outro material físico (GARBIN,2014).

2.8 ESPECTRÔMETRO

Um espectrômetro é um instrumento usado para medir a intensidade da luz em diferentes comprimentos de onda, sendo capaz de separar a luz em suas cores componentes, permitindo ser estudado as propriedades da luz e das substâncias que a emitem ou absorvem (OLIVEIRA, 2003).

Existem vários tipos de espectrômetros, mas todos funcionam seguindo princípios semelhantes. De acordo com Kruschwitz (2018), a luz entra no espectrômetro através de uma fenda estreita e passa por um prisma ou rede de difração que a separa em seus diferentes comprimentos de onda.

Os comprimentos de onda são então detectados por um detector, como um fotodiodo ou um tubo fotomultiplicador, que converte a luz em um sinal elétrico, no qual este sinal é amplificado e registrado em um computador, para ser analisado e interpretado (GINÉ, 1999).

Sendo o espectrômetro de Raio X usado para determinar a estrutura cristalina de materiais sólidos.

2.8.1 Espectrômetro de raio x

O espectrômetro de raio X é um instrumento utilizado para analisar a estrutura molecular e atômica de materiais sólidos. A técnica é baseada na interação de raios X com a matéria,

gerando padrões característicos que podem ser interpretados para determinar a composição e a estrutura cristalina do material (SAITOVITCH, 1995).

É uma ferramenta poderosa para a identificação de elementos químicos, quantificação de fases cristalinas, estudo de defeitos em materiais e investigação de processos químicos em sistemas biológicos (ZWINKELS, 2015).

De acordo com Bunker (2010), o espectrômetro de raio X tem uma ampla variedade de aplicações em diversas áreas da ciência e da indústria.

Segundo Eisberg (1988), uma das principais vantagens do espectrômetro de raio X é sua capacidade de fornecer informações detalhadas sobre a estrutura molecular e atômica de materiais sólidos, isso permite a identificação precisa de elementos químicos e a análise de fases cristalinas, entre outras aplicações. Além disso, a técnica é não-destrutiva, o que significa que a amostra pode ser reutilizada após a análise.

O espectrômetro de raio X consiste em três componentes principais: uma fonte de raios X, um sistema de difração e um detector. A fonte de raios X emite um feixe de raios X que é direcionado para o material a ser analisado, o sistema de difração é responsável por difratar os raios X em ângulos específicos, gerando um padrão de difração que pode ser medido pelo detector (BERTIN, 1975).

Segundo Tabacniks (2005), o padrão de difração resultante é então comparado com um banco de dados de padrões conhecidos para determinar a composição e a estrutura do material e as informações obtidas são geralmente apresentadas em forma de gráficos ou tabelas, que podem ser interpretados para obter informações valiosas sobre o material em questão.

2.8.2 Tipos de espectrômetros de raio x

De acordo com Cullity (1956), existem vários tipos de espectrômetros de raio X disponíveis, cada um com suas próprias vantagens e desvantagens, os mais comuns incluem espectrômetros de fluorescência de raio X (XRF), espectrômetros de difração de raio X (XRD) e espectrômetros de fotoelétrons de raios X (XPS).

Os espectrômetros de fluorescência de raio X são frequentemente utilizados para análises não-destrutivas de materiais, enquanto os espectrômetros de difração de raio X são mais adequados para a análise de cristais e amostras policristalinas. Os espectrômetros de fotoelétrons de raios X são usados para estudar a estrutura eletrônica de superfícies sólidas, incluindo metais, semicondutores e isolantes (CULLITY, 1956).

2.9 ENSAIO DE TRAÇÃO

Nesse tipo de ensaio mecânico, considerados destrutivos pelo fato de o corpo de prova ficar inutilizado após os ensaios. Basicamente este ensaio é realizado ao prender o corpo de prova na morsa superior e inferior, aplicando uma carga lentamente onde submeterá a tensões mecânicas de tração, compressão ou cisalhamento, sendo essa deformação monitorada (CASSOLINO, 2010).

O material irá deformar na direção do esforço de aplicação das forças, sendo que o ensaio de tração consiste em submeter o corpo de prova na força de alongamento, sendo que os resultados são obtidos por meio de gráficos e o corpo de prova deve possuir dimensões padronizadas de acordo com as normas (FERRARINI, 2004).

2.10 ENSAIO DE CHARPY

Sendo um ensaio destrutivo, esse é um método padronizado para medir a energia absorvida por um material quando ele é submetido a uma carga de impacto por pêndulo. A energia absorvida se torna um indicador da tenacidade do material exposto ao impacto, ou seja, a sua capacidade de absorver toda energia antes de falhar (SOUZA, 1982).

De acordo com Souza (1982), se realiza um entalho no corpo de prova a ser testado para gerar um estado triaxial de tensões, pois sem esse entalho o corpo de prova poderia gerar apenas deformações plástica e não quebrar.

O pêndulo é elevado a uma altura fixa e a sua massa é conhecida, a energia do golpe é predeterminada. Corpo de prova entalhado é fixado na máquina e o pêndulo é liberado ocasionando um golpe onde os valores de teste medido podem ser a energia absorvida ao quebrar a amostra, a expansão lateral causada opostamente ao entalhe, a porcentagem fraturada por cisalhamento ou a combinação desses fatores (NORMA ASTM A370/ ASME A-730, 2004).

2.11 SISTEMA DE TRAÇÃO VEICULAR

O sistema de tração refere-se ao conjunto de componentes e mecanismos que permitem a um veículo se movimentar em qualquer terreno. Ele é responsável por transmitir a potência do motor para as rodas ou esteiras do veículo, permitindo assim que ele se desloque (RIBAS, 2010).

De acordo com Forti (2003), para o deslocamento do veículo, se faz necessário o sistema de transmissão que é definido como um dispositivo mecânico ajustador de velocidade que possui além de outras funções proporcionar o controle do torque gerado pela fonte de potência e velocidade variáveis.

A eficiência e a capacidade do sistema de tração têm um impacto significativo na capacidade do veículo de se movimentar com segurança e eficácia em uma variedade de condições do terreno. Dependendo do tipo de veículo e suas características, o sistema de tração pode variar em sua complexidade e configuração (FORTI, 2003).

2.12 SISTEMA DE TRAÇÃO POR LAGARTA

Segundo Packter (1980), o conceito por trás da tração por lagarta baseia-se na distribuição uniforme do peso do veículo sobre uma área ampla de contato com o solo. Ao invés do veículo possuir rodas, ele é equipado com uma série de elos interligados, formando assim uma esteira contínua.

Sendo essa esteira movida por um sistema de transmissão que utiliza motores para girar as rodas dentadas impulsionando o veículo para a direção que deseja ir (ELETROBRAS, 2009).

Segundo During (2017), a tração por lagarta é aplicada em uma variedade de contextos como, veículos militares que necessitam transpor terrenos adversos nas operações militares, equipamentos de construção que utilizam esse tipo de tração devido a capacidade de transportar cargas pesadas em ambientes de difícil acesso, em maquinários agrícolas que se faz necessário preservar o terreno com a distribuição de peso uniforme em momentos de realização das tarefas em campo e até mesmo em veículos off-road.

A tração por lagarta é uma tecnologia com um legado significativo em diversas indústrias, sua capacidade de fornecer estabilidade, tração superior e adaptabilidade a terrenos difíceis a torna uma escolha valiosa em ampla gama de aplicações, desde a agricultura até o uso militar (DURING, 2017).

2.12.1 Esteiras

As esteiras são os componentes principais do sistema de tração por lagarta, geralmente são feitas de aço ou borracha reforçada. São compostas por uma série de elos interconectados que se movem em torno de rodas dentadas (ELETROBRAS, 2006).

Elas distribuem o peso do veículo ou máquina por uma área maior do que os pneus, reduzindo assim a pressão sobre o solo que podem variar em lamas, neve, areia ou terrenos irregulares (PAKTER,1980).

2.12.2 Rodas tensionadoras

As rodas tensionadoras por outro lado, garantem que as esteiras permaneçam firmemente ajustadas e na posição correta em torno das rodas dentadas, ajudando também a manter a tensão adequada nas esteiras, minimizando o desgaste e maximizando a eficiência do sistema de tração (FAÇO, 1996).

2.12.3 Roda motriz

A roda motriz ou roda dentada é a parte essencial do sistema de transmissão desses veículos de tração por lagarta, sendo as rodas dianteiras responsáveis por puxar a lagarta para frente ou para trás, permitindo assim que o veículo se mova (LINARES, 2006).

Esse componente é conectado ao motor do veículo através de uma transmissão complexa, que pode incluir caixas de engrenagens e sistemas hidráulicos, transmitindo o torque do motor para as esteiras do veículo ocasionando sua locomoção.

2.12.4 Rodas guias e rodas de apoio

As rodas guias estão localizadas na parte dianteira e traseira das esteiras e ajudam a distribuir uniformemente o peso do veículo ou máquina sobre as esteiras e também direcionando e mantendo alinhadas corretamente (FAÇO, 1996).

As rodas de apoio estão espalhadas ao longo do comprimento das esteiras e ajudam a suportar o peso do veículo ou máquina, além de auxiliar na distribuição da carga sobre o solo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo do trabalho será apresentado todo experimental utilizado para que fosse concluído o estudo, bem como componente em estudo, máquinas, equipamentos e materiais empregados.

Para a realização dos ensaios químicos e físicos de espectrometria, tração, dureza rockwell, metalografia e charpy, todas as amostras foram enviadas para o laboratório particular Metalab Análise de Materiais Ltda EPP, situado na cidade de Joinville – SC.

3.1 COMPONENTE ESTUDO DE CASO

O componente de estudo analisado será a roda motriz do sistema de tração por lagarta do blindado Leopard 1A5-BR, no qual desempenha um papel crucial na mobilidade e na capacidade operacional do veículo de combate.

Conforme Figura 2, a roda motriz está localizada na parte traseira do veículo, sendo construída de material robusto e possuindo design que maximiza a aderência das esteiras, é o responsável por transmitir a potência do motor para as esteiras permitindo que o tanque se mova com eficiência em terrenos diversos.

Figura 2: Sistema de Tração por Lagarta



Fonte: Autor

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

Primeiro a engrenagem teve todas suas dimensões mapeadas na tridimensional da marca Venture Pulse 3D, do Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento e a Inovação de Produtos e Processos (LADIPP), conforme Figura 3.

Figura 3: Tridimensional



Fonte: LADIPP

3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS

Sabendo que o material utilizado na análise deste trabalho é um aço que ainda não teve sua composição determinada, foram subtraídas amostras da engrenagem conforme a Figura 4, a partir de cortes feitos com uma serra fita horizontal.

Figura 4 – Amostra cortada da engrenagem



Fonte: Autor

3.3.1 Preparação para espectrometria

A partir da amostra cortada da engrenagem, ela foi usinada a fim de obter corpo de prova no perfil que corresponde as dimensões para realização do ensaio de espectrometria.

Os cortes e usinagem empregados nesse procedimento foram feitos com máquina de serra fita horizontal da marca Franho FM 500 e torno convencional da marca Nardini, conforme Figura 5 e Figura 6.

Figura 5 – Serra Fita Horizontal



Fonte: Autor

Figura 6 – Torno convencional



Fonte: Autor

Para que fosse possível uma análise no espectrômetro a fim de determinar a composição química da peça e a porcentagem de elementos, foram feitos corpos de prova na geometria de pequenos discos com dimensões de 5mm x 25mm (espessura e diâmetro) conforme a Figura 7.

Figura 7: Discos para ensaio



Fonte: Autor

O procedimento de preparação das amostras para o ensaio de espectrômetro, seguiu a sequência utilizando a retífica copo tipo blachard, da marca Yadoya RG-280, conforme Figura 8. Após esse procedimento, o teste de espectrômetro foi realizado pela máquina do fornecedor Thermo Fisher Scientific ARL 3460 Metals Analyzer conforme Figura 9.

Figura 8 – Retífica copo



Fonte: Autor

Figura 9 – Equipamento para ensaio de espectrometria



Fonte: METALAB

3.3.2 Preparação para ensaio de tração

Para análise do teste de tração, os corpos de provas foram cortados em barras retangulares e posteriormente usinados no mesmo maquinário que realizou a confecção do corpo de prova do ensaio anterior, seguindo a norma de ensaio em aço CP's cilíndricos da American Society for Testing and Materials A370 (ASTM) ou ISO 6892-1.

Após adquirir dimensões necessárias de acordo com a Figura 10, o corpo de prova de barra circular foi lixado com as seguintes lixas 800 e 1200 mesh, em 1800 rotações por minuto (rpm). Posteriormente o corpo de prova foi colocado na máquina Universal EMIC DL 10000 para realização do ensaio de tração.

Figura 10 – Corpo de prova barra circular



Fonte: Autor

3.3.3 Preparação para ensaio de dureza

Para análise do teste de dureza, foram utilizados corpos de prova no formato de pequenos discos com a mesma dimensão do utilizado no ensaio do espectrômetro.

Amostras após serem polidas na retífica copo, foram colocadas sobre a superfície da mesa de medição do durômetro, da marca HRB Digimess 400.007 conforme Figura 11.

Figura 11 – Durômetro HRB



Fonte: METALAB

3.3.4 Preparação para ensaio de metalografia

Para o ensaio de metalografia, no qual consiste em quatro processos experimentais para a realização, foram cortadas amostras retangulares utilizadas para realização do ensaio.

Primeiro foi o embutimento onde a amostra foi colocada no centro do molde conforme Figura 12 com sua face mais plana para baixo e despejado uma mistura de resina poliéster e líquido auto polimerizante conforme Figura 13, no qual o objetivo é facilitar o manuseio.

Figura 12 – Corpo de prova no molde



Fonte: Autor

Figura 13 – Embutimento da amostra retangular



Fonte: Autor

Posteriormente vem o lixamento visando proporcionar o acabamento da amostra para realização da análise, utilizando lixas como mostrado na Figura 14 com granulometria de 180,220, 320, 400, 600, 1200 e 1500 consecutivamente, juntamente com água destilada.

O polimento na máquina politriz conforme mostrado na Figura 15 é realizado com intuito de melhorar as características do acabamento.

Figura 14 – Lixas



Fonte: Autor

Figura 15 – Politriz**Fonte: Autor**

Por fim, utilizando a capela de química conforme a Figura 16, vem o ataque químico onde o objetivo é permitir a visualização no microscópio óptico de varredura, conforme Figura 17, dos contornos de grãos e as diferentes fases na microestrutura por meio da corrosão da superfície, sendo que esse ataque é realizado após a amostra ser perfeitamente limpa e seca, utilizando um reagente ácido em contato com a superfície da amostra por um determinado tempo.

Figura 16 – Capela de química com exaustão**Fonte: METALAB**

Figura 17 – Microscópio óptico de varredura



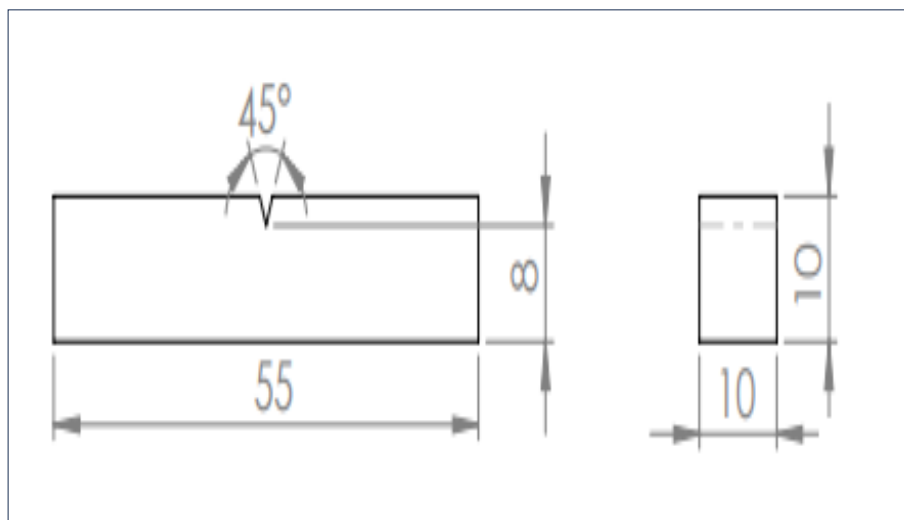
Fonte: Autor

3.3.5 Preparação para ensaio de Charpy

Foram confeccionadas seis amostras seguindo a norma ASTM A370, de forma que foram usinados na direção longitudinal de laminação da barra, e a Figura 18 mostra o esboço do desenho para confecção dos corpos de prova a serem testados.

As amostras tiveram dimensões de 55 mm de comprimento, com seção transversal de 10 mm x 10 mm com entalhe central de profundidade de 2 mm por 45°.

Figura 18 – Barra retangular para ensaio de charpy



Fonte: Autor

Para realizar esse ensaio que é considerado destrutivo, foi utilizado o equipamento ensaio Charpy conforme Figura 19, no qual o corpo de prova é fixado na base inferior e o pêndulo com martelo fica posicionado a uma altura pré-definida para atingir o centro da amostra.

Figura 19 – Equipamento para ensaio de Charpy



Fonte: Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados dos cinco testes realizados para a caracterização e avaliação detalhada das propriedades do material em questão. Os ensaios de espectrômetro, tração, dureza, metalografia e charpy forneceram uma visão abrangente das características mecânicas, tenacidade, composição química e identificação de elementos nas amostras analisadas.

4.1 ENSAIO DE ESPECTRÔMETRO

Ao realizar esse ensaio, pode ser analisado na Tabela 1 que apresentam porcentagens de diferentes elementos na amostra e que o elemento ferro (Fe) predominou com uma média de 96,9673%.

A composição química é fundamental, pois influencia diretamente nas propriedades mecânicas e no comportamento do material em diferentes condições de serviço. Além do ferro, outros elementos como carbono (C), silício (Si), manganês (Mn), fósforo (P), enxofre (S), cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu) e outros foram quantificados. Esses elementos podem afetar a resistência, a ductilidade, a corrosão e outras propriedades do material.

Tabela 1 – Dados do ensaio de espectrometria

Elementos (%)	1	2	3	Média (%)	DPM (%)
C	0,464	0,451	0,449	0,455	0,006
Si	0,291	0,295	0,293	0,293	0,001
Mn	1,186	1,197	1,194	1,192	0,004
P	0,01	0,012	0,012	0,011	0,001
S	0,005	0,006	0,006	0,006	0
Cr	0,359	0,363	0,363	0,362	0,002
Mo	0,081	0,081	0,08	0,081	0
Ni	0,249	0,252	0,252	0,251	0,001
Al	0,044	0,047	0,046	0,046	0,001
Co	0,022	0,025	0,025	0,024	0,001
Cu	0,279	0,293	0,291	0,288	0,006
V	0,002	0,002	0,002	0,002	0
Ti	0,002	0,002	0,002	0,002	0
Nb	0,003	0,005	0,004	0,004	0,001
W	0,014	0,017	0,016	0,016	0,001
B	0,0007	0,0008	0,0008	0,0008	0
Fe	96,988	96,95	96,964	96,9673	0,014

Fonte: Autor

A composição química do aço, exposta na tabela acima, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT, mediada pela norma NBR NM 87: 2000, trata-se de um aço Manganês que possui a classificação 1545.

Esse tipo de aço Manganês é geralmente utilizado em aplicações que requerem resistência ao desgaste e alta resistência, utilizado em peças de máquinas e equipamentos sujeitas a condições de desgaste severo. Adição de manganês ao aço aumenta sua dureza e resistência, o que é ideal para ambientes onde ocorrem forças de impacto e desgaste abrasivo.

A ABNT diz que os dois primeiros números são as classes do aço e os últimos dois o teor de carbono multiplicado por 100, de acordo com a Figura 20.

Figura 20: Classificação dos aços

10xx	→ Aços ao carbono
11xx	→ Aços ao enxofre (ressulfurados)
12xx	→ Ressulfurado e refosfatado
13xx	→ Aços ao manganês
14xx	→ Aços com adição de nióbia
15xx	→ Aços ao carbono (Mn entre 1,00 e 1,65%)
41xx	→ Aços ao Cromo-molibdênio
43xx	→ Aços ao Cromo-níquel-molibdênio
51xx	→ Aços ao cromo
61xx	→ Aços cromo – vanádio
86xx	→ Aços níquel – cromo – molibdênio

Fonte: ABNT

4.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

Se pode analisar os resultados deste ensaio após observar a Tabela 2, que indicam a resistência do material a forças de tração, inicialmente, sendo importante destacar que as amostras (CP 1 a CP 5) tinham um diâmetro médio de 8,00 mm. A resistência máxima à tração foi observada variando entre 759 MPa e 778 MPa, demonstrando a tensão que o corpo de prova foi capaz de suportar antes da ruptura.

Além disso, a tensão de escoamento que é a tensão na qual o material começa a se deformar permanentemente, foi observada entre 420 MPa e 443 MPa. Isso é de suma importância, pois essa propriedade pode ser crítica em aplicações práticas, onde é necessário um certo grau de elasticidade.

O alongamento das amostras, variando de 19,1% a 33,5%, reflete a capacidade do material de suportar deformações plásticas antes de atingir a ruptura.

Além disso, a área de redução, que oscilou entre 41,7% e 45,2%, refere-se a redução percentual na área transversal da amostra no ponto de ruptura em comparação a área inicial.

A análise estatística dos dados, incluindo média, desvio padrão e coeficiente de variação, proporciona uma compreensão da consistência dos resultados. Isso é particularmente importante em aplicações industriais, onde a uniformidade das propriedades mecânicas do material é fundamental para garantir a segurança e o desempenho.

Outro aspecto relevante é a identificação do ponto da curva correspondente ao escoamento convencional, que foi determinado em 0,2%.

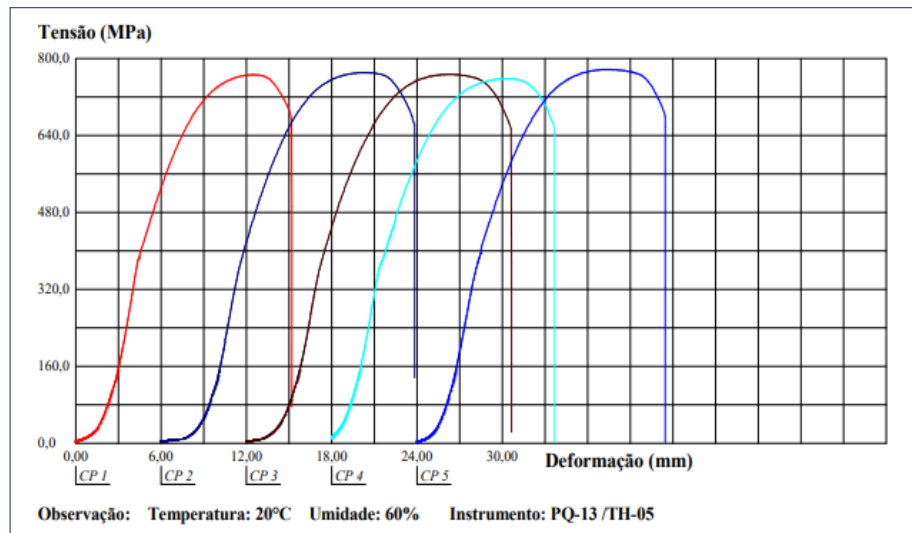
Isso fornece informações sobre a sensibilidade do material a esforços de tração e a capacidade de retornar à sua forma original após a aplicação de uma carga, que pode ser visto no gráfico da Figura 21.

Tabela 2 – Dados do ensaio de tração

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	LO (mm)	Tensão Máxima (Mpa)	Tensão Escoamento (Mpa)	Alongamento Final (%)	Área Inicial (mm ²)	Redução de Área (%)
CP 1	8,00	40	767	420	33,5	50,27	42,8
CP 2	8,02	40	771	438	20,5	50,52	44,2
CP 3	8,01	40	768	435	23,9	50,39	45,2
CP 4	7,99	40	759	431	19,1	50,14	44,5
CP 5	7,96	40	778	443	21,0	49,76	41,7
Média	7,99600	40,00	768,6	433,4	23,60	50,22	43,68
Desv. Padrão	0,02302	0,0000	6,918	8,760	5,809	0,2889	1,429
Coef. Var (%)	0,28790	0,0000	0,9001	2,021	24,61	0,5753	3,272
Escoamento. ES1 - Ponto da curva corresponde ao escoamento convencional: 0,200%							

Fonte: Autor

Figura 21: Gráfico de tensão x escoamento



Fonte: Autor

4.3 ENSAIO DE DUREZA

Segundo a literatura a dureza Rockwell na escala “B” para o aço 1545 poderia variar aproximadamente entre 80 e 90 HRB. No ensaio realizado na moeda alcançou uma em média de 96 conforme observado na Figura 22.

Um valor de dureza Rockwell B de 96 para o aço 1545 está na faixa alta da escala de dureza Rockwell B, sendo que isso sugere o material possuir uma resistência relativamente alta.

É importante considerar que os valores de dureza podem variar dependendo de vários fatores, incluindo a composição química exata do aço, o tratamento térmico aplicado e a microestrutura do material. Por comparações de vários ensaios, fica muito bem corroborado que o aço analisado se trata de uma liga de aço ao Manganês 1545.

Figura 22: Corpo de prova do ensaio de dureza HRB



Fonte: Autor

4.4 ENSAIO DE METALOGRAFIA

O ensaio metalográfico permitiu uma análise microscópica da estrutura do material, revelando informações importantes da sua composição química e microestrutura, sendo observado na Figura 23.

Após o ataque com químico nas amostras por Nital 3,5%, foi visualizado após um zoom de 500x as estruturas com resultado de uma relação de 85% de Perlita e 15% de Ferrita, sugerindo que a Perlita é a fase predominante, compreendendo a maior parte da microestrutura enquanto a Ferrita constitui uma proporção menor.

Essa combinação de Perlita e Ferrita é comum em aços que passaram por tratamentos térmicos específicos, como têmpera e revenido.

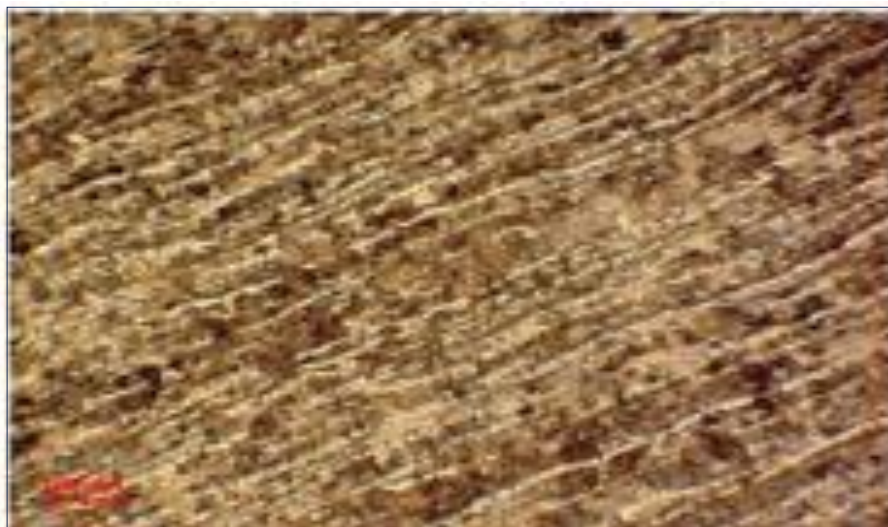
Figura 23: Ensaio metalográfico zoom 500x



Fonte: Autor

Outra característica importante sobre natureza do corpo de prova em análise é facilmente evidenciada retrocedendo ao um zoom a 100x. Como mostra a Figura 24 abaixo.

Figura 24: Ensaio Metalográfico zoom 100x



Fonte: Autor

As estruturas perlíticas e ferríticas estão obedecendo uma ordenação paralela entre elas, sendo que em tal organização se confirma que é um aço laminar, ele foi feito por um processo de laminação, onde os aços de liga são submetidos a pressão mecânica por rolos ou cilindros até alcançar as espessuras necessárias.

4.5 ENSAIO DE CHARPY

O ensaio Charpy é uma técnica utilizada para avaliar a tenacidade de um material, sendo ela uma propriedade importante, especialmente em aplicações onde o material está sujeito a impactos. Neste ensaio, a energia absorvida pelas amostras foi medida em joules (J).

Os resultados informados na Tabela 3 mostraram que a média de energia absorvida foi de 18,9594 J. Isso indica a capacidade do material de absorver energia antes de fraturar sob impacto.

A variação nas medidas entre amostras radiais e tangenciais pode fornecer informações adicionais sobre a anisotropia do material, ou seja, se ele se comporta de maneira diferente em diferentes direções.

Tabela 3 – Dados do ensaio de Charpy

Amostra	Joule [J]
I - Radial	19,6132
II - Radial	18,63254
III - Radial	16,67122
IV - Tangencial	17,65188
V - Tangencial	22,55518
VI - Tangencial	18,63254
Média	18,95942667

Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal a aplicação metódica da eficácia ao aplicar a ferramenta da Engenharia Reversa na roda motriz do blindado Leopard 1A5-BR tracionado por esteira.

Os ensaios mecânicos realizados tiveram principal meta de identificar qual tipo de material foi utilizado na sua produção, que no caso foi o Manganês 1545, qual limite de esforços mecânicos pode suportar e quais tratamentos térmicos sofreu o componente para atingir as propriedades mecânicas encontradas na sua análise.

A Engenharia Reversa é uma abordagem crucial em diversos campos da engenharia, o que permite a compreensão profunda e reprodução de produtos e materiais existentes. Quando aplicado em conjuntos com ensaios mecânicos, essa ferramenta torna-se ainda mais poderosa.

Por fim, a aplicação da ferramenta da Engenharia Reversa na roda motriz, ofereceu uma abordagem valiosa para compreender, analisar e futuramente aprimorar esse componente, sendo que consistiu no mapeamento do design para criação do desenho técnico e toda característica necessária para fabricação.

Sendo que poderão ser feitos trabalhos futuros em relação a esse tema para que permita otimizar o desempenho, melhorar a eficiência e também reduzir custos de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.P.C. **Os Tanques na Guerra Europeia: 1914 -1918**. 2ª Edição. Ver. Atual – Rio de Janeiro: Ed. ESG, 2018.

ANUSAVICE, K.J., 2005, “**Phillips Materiais Dentários**”, Elsevier, 11ª ed., Rio de Janeiro, p.764.

ASM Handbook (2004). **Fundamentals of Heat Treating**. In ASM Handbook Volume 4A: Steel Heat Treating Fundamentals and Processes (pp. 1-36). ASM Internationale.

ASM Handbook. **Metallography and Microstructures**, Vol. 9, ASM International, Estados Unidos da America, 2004.

ASM handbook, **Properties and Selection: Irons Steels and High-Performance Alloys**, ASM Handbook vol. 1, ASM International, Estados Unidos da America, 1993.

BASTOS, Expedito Carlos Stephani. **Blindados No Brasil - Um Longo e Árduo Aprendizado - Vol. 1**. São Paulo: Editora Tallere, 2011.

BOLGENHAGEN, N. J. **O processo de desenvolvimento de produtos**: proposição de um modelo de gestão e organização. 2003. 118f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CALLISTER, Jr. e William, D., 2002, “**Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**”, Editora LTC, São Paulo, 5ed., p. 78-100.

CALLISTER, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. LTC Livros Técnicos e Científicos 7 ed. 2007.

CANNÉPLE, Daniel Longhi. **Estudo Prospectivo Dos Impactos Das Hipóteses De Aquisição das VBC CC Leopard 2 A6 E M1A1 Abrams Para A Tropa Blindada Brasileira**. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Comando e Estado-Maior do Exército. Rio de Janeiro, 2019.

CASSOLINO, Leiliana C.; PEREIRA, Antônio H. A. **Módulos elásticos: Visão geral e Métodos de Caracterização**. Informativo Técnico Científico – ITC-ME/ATCP. São Paulo, 2010.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 6. ed., ampl. e rev. São Paulo: ABM - Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 1994, 1988.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. Ed. São Paulo, SP, Ed. Edgard McGraw-Hill, 2008.

COLPAERT,h. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**, 3ª Edição, Editora Edgarg Blücher Ltda, São Paulo – 1974.

COSTA E SILVA, F. e MEI, P. R. (2010). **Tratamento térmico**. In: Chiaverini, V. (ed.). **Aços e ferros fundidos**. 7ª ed. São Paulo: ABM, p. 265-304.

COUTINHO, T.A., **Análise e Prática Metalográfica de Não-Ferrosos**, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1980.

DAMARTZIS, T. et al. **Thermal degradation studies and kinetic modeling of cardoon (Cynara cardunculus) pyrolysis using thermogravimetric analysis (TGA)**. Bioresource Technology, v. 102, n. 10, p. 6230–6238, maio 2011.

DE MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A. DO; MELO, D. C. DE. **Análise da madeira de pinus ocarpa** parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis 1. Sociedade de Investigações Florestais, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

DURING, N.F. **Nova Família de Blindados Sobre Lagartas no EB**. [S.l.]Disponível em: <<http://www.defesanet.com.br/terrestre/nova-familia-de-blindados-sobre-lagartas-no-eb-uma-proposta>>. Acesso em 20 de novembro 2023. Citado na página 19.

DWIVEDI, D.; LEPKOVA, K.; BECKER, T. **Carbon steel corrosion**: a review of key surface properties and characterization methods. The Royal Society of Chemistry, n.7, p.4580-4610, 2017.

ELETROBRAS. **Correias transportadoras**: guia básico. Brasília: IEL/NC, p. 177, 2009.

FAZANO, C. A. T. V. **A Prática Metalográfica**. São Paulo, Hemus Livraria Editora Limitada, 1980.

FERRARINI, José L. **Caracterização de materiais para o processo de estampagem**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FERRAZ, Henrique. **A utilização do aço na construção civil**. Revista eletrônica de Ciências. São Paulo, 2003. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/2023/11/01/a-utilizacao-do-aco-na-construcao-civil/>. Acesso em 20 de novembro de 2023.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Solidworks Premium 2009**: Teoria e Prática no Desenvolvimento de Produtos Industriais: plataforma para projetos CAD/CAE/CAM/ Arivelto Bustamante Fialho. -1. ed.-São Paulo: Érica, 2009.

FILHO, A. S. C. **Técnica 3D de visualização da informação**: design e avaliação da usabilidade. 2014.

FOGAÇA, jennifer Rocha Vargas. “**Aço**”; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/aco.htm>>. Acesso em 11 de janeiro de 2023.

FORTI, A. W. **Estudo Teórico Experimental de Parâmetros de Projeto de uma Transmissão Continuamente Variável por Tração Tipo Esfera Cone**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Comissão de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, 2003.

GARCIA, A.; Spim, J. A.; Santos, C. A. **Ensaio dos materiais**. [S.I.]. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 2000.

GUESSER, Wilson L.; GUEDES, Luís O. Desenvolvimento recentes em ferros fundidos aplicados a indústria automobilística. Seminário da associação de Engenharia automotiva – AEA, São Paulo, 1997. Acesso em: 10 janeiro de 2024.

GINÉ, M. F.; **Espectrometria de Massas com Fonte de Plasma (ICP-MS)** Série Didática, CENA: Piracicaba, 1999, vol. 4.

GUIBERT, A. A. P., Gomes, P. A. e Kole, A. T., 2000, “**Ensaio de Materiais**” São Paulo, v.1, 208 p. Leta, F.R., Mendes, V.B. e Mello, J.C.S, agosto, 2004, “Medição de Identificações de Dureza com Algoritmos de Visão.

GUIMARÃES, J. R. **Processos Oxidativos Avançados**. 2013. Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/5465-noticias>. Acesso em: 25 de novembro de 2023.

HENRICH, V. E.; Cox, P. A. **The surface science of metal oxides**. 1 ed. Cambridge University Press. pp. 44-5, 284-5, 314. 1994.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **A indústria do aço no Brasil**: Encontro da Indústria para a Sustentabilidade. Disponível em: < https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public > Acesso em 08 de junho de 2023.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). **Compendium of Chemical Terminology**. Gold Book. Version 2.3.3. 2014.

KASVI. Espectrofotometria: **Análise da concentração de soluções**. Disponível em: Acesso em 08 de dezembro de 2023.

KWIETNIEWSKI, C. F., Silva, A. L., Santos, D. B., & Totten, G. E. (2014). **Revenimento**: conceitos e aplicações. In G. E. Totten (Ed.), *Tratamentos térmicos dos aços* (Vol. 2, pp. 1-32). Artliber.

KWIETNIEWSKI, C. E. F., KISS, F. J., STROHAECKER, T. R., REGULY, A., **Tratamentos Térmicos de Aços e Ferros Fundidos**. Departamento de Metalurgia UFRGS, 1 Ed., 2014.

LIMA, F. B. **Microestrutura e Tenacidade de Aços de Baixa Liga Tipo 41XX** - Uma Abordagem Quantitativa. 2006. 188 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

LIMA, N. B.LIMA,l,m,g;PADILHA,a,f. **Texturas de recristalização**. In: *TEXTURA E RELAÇÕES DE ORIENTAÇÃO*. 2ª ed., 2003, São Paulo. Workshop... São Paulo: UPUSP, p. 108-128.

LINARES, P.; Catalán, H.; Méndez, V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. 2.ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 2006. 215p.

METALLOGRAPHY AND MICROSTRUCTURES – **Metals Handbook**, V. 9, 9ª ed., 1985, Metals, Ohio, 1995.

MIALHE,L.G. **Máquinas motoras na agricultura**. Editora Pedagógica e Universitária: EDUSP, **1980** - 289 pages. V.1.

MOREIRA, L. **História dos softwares CAD**, Evolução e desenvolvimento, 16 setembro de 2015. Disponível em <https://prezi.com/qwseh_cfrgvc/historia-dos-softwares-cad-evolucao-e-desenvolvimento-das-f>. Acesso em 02 de maio de 2023.

MURY, L.G.M. **Adaptação de produtos para Mercados Diferenciados a partir da engenharia reversa**. Orientador: Fogliatto, F.S. 2002. 18 F. Artigo (Pós-graduação) -UFGRS.

NASCIMENTO, M. S.; MEDEIROS, J. B.; DANTAS, A. C. S. **Engenharia Reversa: Cultivando o interesse no Âmbito automotivo**. Revista de Extensão da UNIVASF, Petrolina, v. 11, n. 1, p. 41-59, 2023.

NORMA ASTM A370/ ASME A-730, 2004. **ASTM A370 / ASME SA-370**ASTM International, Elanchezhian et.al.(2018), Disponível: Acessado em 08 de novembro de 2023.

OLIVEIRA, A. P., **Desenho Técnico**, Apostila do Instituto Técnico, São Paulo, 2007. Disponível: Acessado em 12 de janeiro de 2024.

PACKTER, T. **O trator de esteiras na fazenda: aplicação e manutenção**. Curitiba, PR: Agrodata Vídeo, [1980]. color.: NTSC: son., color. NTSC: son., color.

PONTICELLI, C. **O Avanço do Desenvolvimento de produtos Através da Engenharia Reversa**. Orientador: Cássio Aurélio Suski. 2011. 13 F. Artigo (Pós-Graduação).

RIBEIRO, L. P. P. G., **Caracterização das Propriedades Mecânicas do Aço SAE 4140 após Diferentes Tratamentos de Têmpera e Revenido**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio, 2006.

ROHDE, R. A. **Metalografia Preparação De Amostras: Uma abordagem pratica**. 2010. Acesso em 04 janeiro de 2024.

SANTANA, F. E., **Desenho Técnico**, Apostila da Faculdade de Tecnologia em São Carlos – FATESC, Rev 00, 2005. Acessado em 05 de dezembro de 2023.

SILVA, A. L. V. C.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**, 3 ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2010. 646 p.

SILVA, L.J.; LOPES, G.M. **Engenharia reversa voltado para a reconstrução de ferramentas**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2022.

SILVA, Ubirajara Marques de Carvalho e. **Técnicas e Procedimentos na Metalografia Prática**, I. Rossi Editora, São Bernardo do Campo, SP, 1978.

TABOLT, D.; TABOLT, J. **Corrosion Science and Technology**. CRC Press, 1998. Editora Pearson.

VALENTE, A.L.P.; COLLINS, C.H.; MANFREDI, J.E. **Conceitos básicos de cromatografia líquida de alta eficiência**. Química Nova, São Paulo, 1983.

ANEXOS

ANEXO A - Laudo do ensaio de tração

METALAB ANÁLISE DE MATERIAIS LTDA.

LABORATÓRIO DE ENSAIOS MECÂNICOS

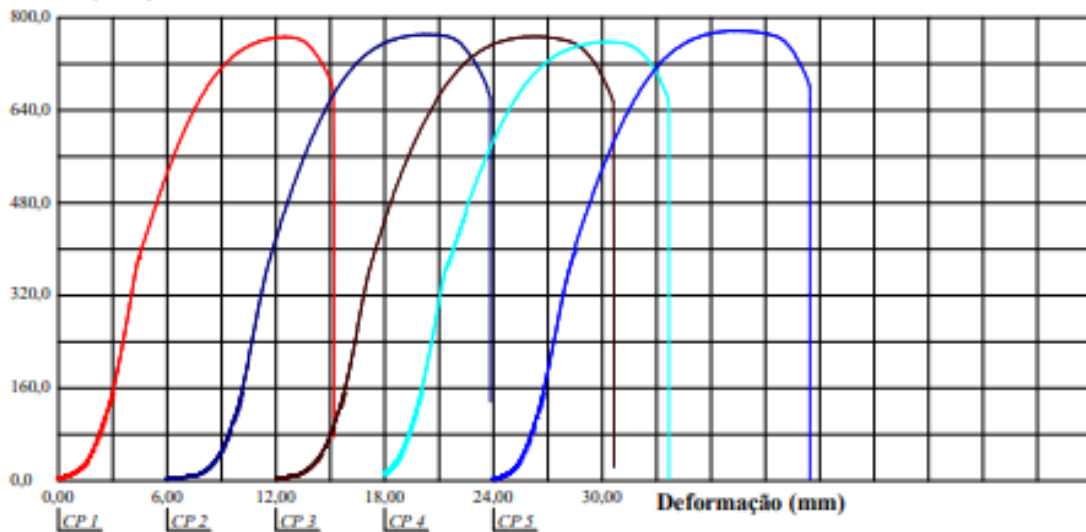
Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL3000N Célula: Trd 29 Extensômetro: - Data: 20/06/2023 Hora: 15:14:33 Trabalho n° **12050**
 Programa: Tesc versão 3.04 Método de Ensaio: Tração em Aço CP's Cilíndricos - ISO 6892-1
 Ident. Amostra: >>>>>>>>>> Rastreabilidade: **FAUSTO** Norma Ref.: NBR ISO 6892-23 Responsável: Cassiel Viricimo

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	L0 (mm)	Tensão Máxima (MPa)	Tensão Escoamento (MPa)	Alongamento Final (%)	Área Inicial (mm ²)	Redução de Área (%)
CP 1	8,00	40	767	420	33,5	50,27	42,8
CP 2	8,02	40	771	438	20,5	50,52	44,2
CP 3	8,01	40	768	435	23,9	50,39	45,2
CP 4	7,99	40	759	431	19,1	50,14	44,5
CP 5	7,96	40	778	443	21,0	49,76	41,7
Média	7,996	40,00	768,6	433,4	23,60	50,22	43,68
Desv.Padrão	0,02302	0,0000	6,918	8,760	5,809	0,2889	1,429
Coef.Var.(%)	0,2879	0,0000	0,9001	2,021	24,61	0,5753	3,272

Escoam. ES1 - ponto da curva correspondente ao escoamento convencional: **0,200 %**

Tensão (MPa)



Observação: Temperatura: 20°C Umidade: 60% Instrumento: PQ-13 /TH-05

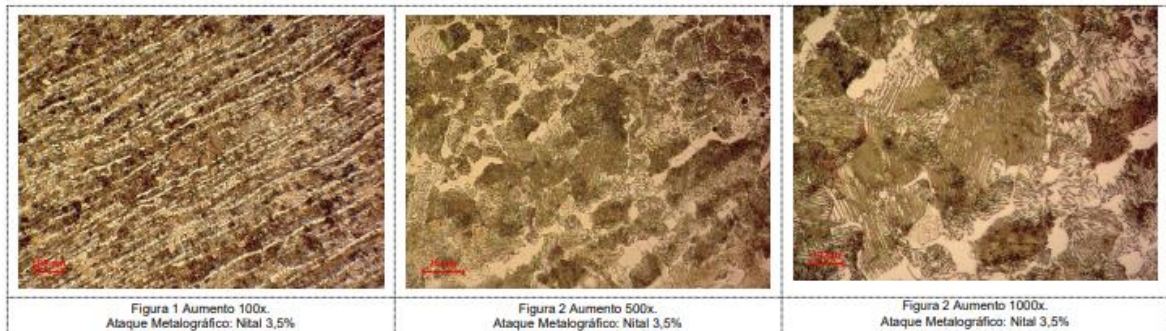
ANEXO B – Laudo do ensaio de metalografia

	REGISTRO DE ANÁLISE METALOGRÁFICA
---	--

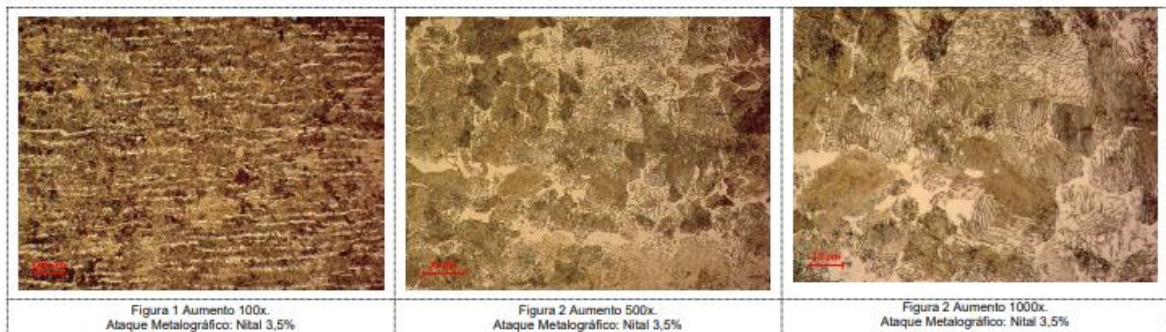
Rastreabilidade: REL 7485/23

Condições Ambientais:	Temperatura (°C):	22,9	Umidade (%):	59
Solução de Ataque:	Nital 3,5%	Código	008/23	
Código do Equipamento:	MI-03			
Responsável:	Jackson	Data: 05/09/2023		

*Ensaio metalográfico para avaliação de matriz.



Das análises metalográficas realizadas na amostra 1, registrou-se: Microestrutura formada por Perlita (77%) e Ferrita (23%) .



Das análises metalográficas realizadas na amostra 1, registrou-se: Microestrutura formada por Perlita (85%) e Ferrita (15%) .