

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
MINAS GERAIS - *CAMPUS* BETIM  
ENGENHARIA MECÂNICA

JOICE PALOMA FARIA

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E METALÚRGICAS  
DO AÇO 4130H SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE TRATAMENTO  
TÉRMICO**

Betim - MG

2025

JOICE PALOMA FARIA

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E METALÚRGICAS  
DO AÇO 4130H SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE TRATAMENTO  
TÉRMICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Betim para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

**Orientador:** Prof. Dr. Gabriel Mendes de Almeida Carvalho

**Coorientador:** Eng. Pedro Henrique Degasperi Escolástico

Betim - MG  
2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

F224a Faria, Joice Paloma

Avaliação das propriedades mecânicas e metalúrgicas do aço 4130h sob diferentes condições de tratamento térmico / Joice Paloma Faria. – 2025.

40 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Gabriel Mendes de Almeida Carvalho  
Coorientação: Eng. Pedro Henrique Degasperi Escolástico

1. Tratamento térmico. 2. Ensaio mecânicos. 3. Têmpera. 4. Metalografia . 5. Engenharia Mecânica. I. Faria, Joice Paloma. II. Título.

CDU: 621.7



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
Campus Betim  
Diretoria de Ensino  
Rua Itamarati, 140 - CEP 32677-564 - Betim - MG  
3135325921 - www.ifmg.edu.br

## **ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aos 06 dias do mês de maio do ano de 2025, às 16h00, por videoconferência, reuniu-se a banca examinadora presidida por mim, Gabriel Mendes de Almeida Carvalho e demais membros, Ismael Melo Rabelo de Melo e Mateus Codognotto Cunha. Nesta ocasião a discente Joice Paloma Faria do curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, com registro acadêmico de número 0032824 do IFMG – Campus Betim, defendeu seu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E METALÚRGICAS DO AÇO 4130H SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE TRATAMENTO TÉRMICO” e foi APROVADA, com 70 (setenta) pontos.

Este resultado reflete o cumprimento parcial dos critérios de avaliação estabelecidos pelo curso e reconhece os esforços e a dedicação do discente e seu orientador no desenvolvimento do seu TCC. O lançamento da nota e o consequente encerramento do respectivo processo está condicionado ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa conforme previstos nos regulamentos vigentes. Tais procedimentos pós-defesa devem ser finalizados dentro do prazo limite de 30 dias úteis, a contar da data desta ata. O descumprimento destes procedimentos até a data estipulada implicará em atribuição de nota 0 (zero) e consequente reprovação.

A sessão foi encerrada às 17h30. Para constar, eu, Gabriel Mendes de Almeida Carvalho, redigi a presente ata que após lida publicamente, foi aprovada e assinada pelo discente e membros da banca examinadora.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** GABRIEL MENDES DE ALMEIDA CARVALHO  
Data: 12/06/2025 15:01:11-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Gabriel Mendes de Almeida Carvalho  
IFMG Campus Betim

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ISMAEL NOGUEIRA RABELO DE MELO  
Data: 13/06/2025 15:05:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Msc. Ismael Melo Rabelo de Melo  
IFMG Campus Betim

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** MATEUS CODOGNOTTO CUNHA  
Data: 13/06/2025 08:01:56-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Msc. Mateus Codognotto Cunha  
IEC PUC-MG

Betim, 09 de junho de 2025.

Dedico este trabalho à minha mãe, Roselene Faria, e ao meu irmão, Luan Faria, que sempre foram minha base, minha força e minha inspiração. Mãe, sua dedicação, amor incondicional e apoio em cada passo da minha jornada foram fundamentais; obrigado por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava. Luan, meu irmão e grande amigo, agradeço por estar sempre ao meu lado, me incentivando e tornando essa caminhada mais leve. Este trabalho é, acima de tudo, um reflexo da força, do amor e do apoio que recebo de vocês todos os dias.

## **AGRADECIMENTOS**

Com o coração cheio de gratidão, dedico este trabalho a todos que caminharam ao meu lado e foram meu alicerce nos momentos de luta e de superação.

Aos meus familiares, meu amor eterno. Obrigado por cada gesto de carinho, cada palavra de conforto e por nunca deixarem de acreditar em mim. Nos dias difíceis, foram seus abraços mesmo que à distância que me deram forças para continuar.

Aos meus amigos, que com risos, conselhos e apoio sincero tornaram essa jornada mais leve. Obrigado por enxergarem em mim o potencial, mesmo quando eu estava cansado(a) demais para ver.

Aos professores e orientadores, que além de transmitirem conhecimento, ofereceram paciência, incentivo e confiança. Sou grato(a) por cada orientação, cada correção e cada palavra de encorajamento ao longo do caminho.

E, acima de tudo, a Deus, que foi meu refúgio nos dias de angústia e minha luz nos momentos de escuridão. Sem a Sua presença, esta vitória não teria sido possível.

Este trabalho carrega mais do que páginas escritas; ele é feito de fé, amor, apoio e perseverança. Obrigado por fazerem parte desta conquista que levo para a vida inteira.

"A gente tem mania de pensar pobre e traçar coisas pequenas. E pobreza atrai pobreza. Tenha metas ousadas."

Luiza Trajano

## RESUMO

O trabalho analisou o tratamento térmico mais adequado entre têmpera com resfriamento ao ar e têmpera com resfriamento em água, utilizando métodos experimentais, tendo como material base o aço 4130H. A pesquisa foi conduzida por meio da realização de ensaios mecânicos de dureza e ensaios metalográficos, a fim de avaliar as mudanças microestruturais e as propriedades mecânicas resultantes de cada tratamento térmico. A dureza foi mensurada utilizando o método Rockwell C, enquanto a análise metalográfica permitiu a observação das transformações de fase ocorridas nas amostras tratadas. Os resultados mostraram que a têmpera com resfriamento em água proporciona um aumento significativo da dureza devido à formação de martensita, porém com maior risco de tensões residuais e trincas. Por outro lado, a têmpera com resfriamento ao ar resultou em uma dureza moderada, mas com uma microestrutura mais homogênea e menor suscetibilidade a defeitos. Com base na análise comparativa das propriedades mecânicas, concluiu-se que a escolha do tratamento térmico deve considerar o uso final da peça: para aplicações que exigem máxima dureza e resistência ao desgaste, a têmpera em água é recomendada.

**Palavras-chave:** Têmpera; 4130H; Dureza HRC; Microestrutura.

## ABSTRACT

The study analyzed the most suitable heat treatment between air cooling quenching and water cooling quenching, using experimental methods to support the choice, with 4130H steel as the base material. The research was conducted through mechanical hardness tests and metallographic analysis to evaluate the microstructural changes and mechanical properties resulting from each heat treatment. Hardness was measured using the Rockwell method, while metallographic analysis allowed for the observation of phase transformations in the treated samples. The results showed that water quenching significantly increases hardness due to the formation of martensite, but with a higher risk of residual stresses and cracking. On the other hand, air quenching resulted in moderate hardness, but with a more homogeneous microstructure and lower susceptibility to defects. Based on the comparative analysis of the mechanical properties, it is concluded that the choice of heat treatment should consider the final application of the part: for applications requiring maximum hardness and wear resistance, water quenching is recommended.

**Keywords:** Tempering heat treatment; Steel 4130H; HRC hardness; Microstructure.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Faca em aço damasco . . . . .	18
Figura 2 – Etapas do Processo da Metalurgia do Pó . . . . .	19
Figura 3 – ETAPAS T.T. . . . .	20
Figura 4 – Preparação das amostras utilizadas no trabalho. . . . .	24
Figura 5 – Forno MUFLA utilizado para o tratamento Térmico. . . . .	25
Figura 6 – Amostras sendo colocadas no forno . . . . .	25
Figura 7 – MICROSCÓPIO utilizado para fazer análise. . . . .	26
Figura 8 – Preparação para embutimento dos CP's . . . . .	26
Figura 9 – Preparação das amostras para realizar a Microestrutura. . . . .	27
Figura 10 – Reagente utilizado no trabalho. . . . .	28
Figura 11 – Visualização da microestrutura encontrada no CP. . . . .	28
Figura 12 – Durômetro de bancada utilizado no trabalho . . . . .	29
Figura 13 – Durômetro de bancada. . . . .	30
Figura 14 – Ensaio de dureza sendo realizado . . . . .	30
Figura 15 – Coloração das amostras após retirada do forno. . . . .	32
Figura 16 – Tabela com as cores e temperaturas de lâminas . . . . .	33
Figura 17 – Microestrutura encontrada no material recebido. . . . .	34
Figura 18 – Microestrutura obtida no material resfriado ao ar. . . . .	35
Figura 19 – Microestrutura resultante do material resfriado em água. . . . .	36
Figura 20 – Gráfico de Dureza. . . . .	37
Figura 21 – CP após ensaio de dureza. . . . .	38

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Composição química (% em peso) do aço utilizado . . . . .	32
Tabela 2 – Resultado de dureza Rockwell C(HRC) . . . . .	36

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IFMG	Instituto Federal de Minas Gerais
CP	Corpo de prova
SAE	Society of Automotive Engineers
NBK	Aço normalizado e temperado
GBK	Aço recozido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivos	15
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	15
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
2.1	<i>Principais ligas</i>	17
2.1.1	<i>Aço Carbono e Aço Carbono baixa liga</i>	17
2.1.2	<i>Aço Ferramenta</i>	17
2.1.3	<i>Aço Inoxidável</i>	17
2.1.4	<i>Aços DAMASCO</i>	18
2.1.5	<i>Aços produzidos via metalurgia do pó</i>	18
2.2	<i>SAE 4130H</i>	19
2.3	<i>Propriedades Estudadas</i>	20
2.3.1	<i>Tratamentos Térmicos</i>	20
2.3.2	<i>Ensaio Mecânicos</i>	21
2.3.3	<i>Ensaio Metalográficos</i>	22
2.3.4	<i>Propriedades Químicas</i>	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>24</b>
3.1	<i>Composição Química</i>	24
3.2	<i>Tratamento Térmico</i>	24
3.3	<i>Metalografia</i>	26
3.4	<i>Ensaio de Dureza</i>	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>32</b>
4.1	<i>Análise Química</i>	32
4.2	<i>Tratamento Térmico</i>	32
4.3	<i>Metalografia</i>	33
4.4	<i>Ensaio de Dureza</i>	36
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>39</b>

**REFERÊNCIAS . . . . . 40**

# 1 INTRODUÇÃO

A cutelaria, é a produção de materiais de corte feitos por método artesanal ou industrial, são instrumentos e ferramentas simples, porém, com grande utilidade no cotidiano. “[...] A palavra cutelos ignifica instrumento cortante de ferro que vem do latim *cultellu* (“pequena faca”), de onde provém também a palavra *cutela*, faca larga para cortar carne”(FORTUNA; MILANEZ; ROSA, 2020).

Para (FORTUNA; MILANEZ; ROSA, 2020) desde muitos anos as facas já fazem parte da história da humanidade, no princípio as mesmas eram feitas com lascas de pedras ou conchas. Com essa invenção começaram então a desenvolver mais instrumentos para uso, como lanças de madeiras, utensílios para defesa e também utensílios para cortar couro e fazer roupas. A grande evolução veio com a descoberta e manuseamento dos metais no sudoeste asiático. Inicialmente as ferramentas eram feitas de cobre e posteriormente eram fabricadas em bronze. E mais tarde, na idade do ferro, que exibindo melhores propriedades de dureza e resistência mecânica, as ligas de cobre deixaram de ser utilizadas para esta aplicação.

Ao longo do tempo, com o desenvolvimento da metalurgia, surgiram técnicas que visam aprimorar as propriedades dos materiais, incluindo os tratamentos térmicos. Esses processos têm como objetivo melhorar as características mecânicas e metalográficas das lâminas, tornando-as mais resistentes e adequadas para diversas aplicações. Entre os tratamentos térmicos mais utilizados está a têmpera, que desempenha um papel fundamental na produção de lâminas de alto desempenho.

A têmpera é o tratamento térmico adifusional de elevada importância, porque é por intermédio dela, acompanhada pelo revenido, que se obtêm as propriedades que permitem o emprego do aço em peças de maior responsabilidade e em aplicações mais críticas, como as que se encontram na indústria mecânica, na indústria de transporte, aeroespacial e em outros segmentos industriais (GALLINA *et al.*, 2022).

A operação de têmpera visa a formação da martensita através do resfriamento rápido a partir da temperatura de austenitização em um meio de grande capacidade de resfriamento como água, salmoura, óleo, polímeros e, eventualmente, ar. O processo de têmpera gera tensões internas no material que devem ser imediatamente aliviadas ou eliminadas para devolver ao aço o equilíbrio necessário (GALLINA *et al.*, 2022).

Para este trabalho, será realizado o tratamento térmico de têmpera utilizando 4 corpos de prova, que serão submetidos a dois diferentes meios de resfriamento: água e ar. Esses métodos de resfriamento foram escolhidos para avaliar o impacto de cada meio nas propriedades finais do material, como dureza e microestrutura.

Com o objetivo de identificar o método de resfriamento que proporciona os melhores resultados no desempenho de lâminas de corte, serão realizadas análises nos corpos de prova. Essas análises incluirão ensaios metalográficos, para examinar as transformações microestruturais

decorrentes do tratamento térmico, e ensaios mecânicos, com o intuito de avaliar a resistência, a dureza e, especialmente, a resistência ao desgaste das amostras. A comparação dos resultados permitirá determinar qual meio de resfriamento oferece maior eficiência e contribui para o melhor desempenho das lâminas de corte.

O aço escolhido para este estudo foi o 4130H, conhecido por suas excelentes propriedades mecânicas e ampla utilização em aplicações que requerem alta resistência. Essa escolha se deve às características favoráveis do material, que permitem explorar ao máximo os efeitos do tratamento térmico de têmpera nos diferentes métodos de resfriamento analisados.

## **1.1 Justificativa**

Atualmente, há uma crescente demanda por lâminas de corte artesanais, impulsionada não apenas pela busca por um design mais sofisticado, mas também pela possibilidade de personalização de acordo com as preferências do cliente. Seja gravando um nome, um símbolo ou um padrão exclusivo, essas lâminas oferecem um toque único e personalizado que as diferenciam das opções industrializadas. No entanto, a beleza estética é apenas um dos fatores que impulsionam essa escolha; a qualidade e a funcionalidade também desempenham um papel fundamental.

Para se destacar nesse mercado, é essencial dominar o conhecimento sobre as propriedades mecânicas e metalográficas dos materiais utilizados. Esse entendimento permite oferecer produtos que não só atendem às expectativas visuais dos clientes, mas também garantem maior durabilidade, corte mais suave e resistência ao desgaste. Uma lâmina bem projetada e confeccionada com base em estudos técnicos não só agrega valor ao produto, como também aumenta a satisfação do cliente ao proporcionar uma experiência superior no uso.

Além disso, compreender como os tratamentos térmicos afetam o comportamento dos materiais é crucial para a conformação mecânica. Esse nível de precisão técnica assegura que cada lâmina não só tenha a aparência desejada, mas também o desempenho exato para a função a que se destina, reforçando a confiança do cliente e consolidando a reputação do artesão no mercado.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 *Objetivo geral***

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar a dureza como principal propriedade mecânica, além das características metalográficas do aço 4130H.

### **1.2.2 *Objetivos específicos***

1. Analisar o comportamento do aço sob diferentes condições de resfriamento no tratamento térmico de têmpera.
2. Realizar análises mecânicas e metalográficas no aço estudado.
3. Definir o método de resfriamento que proporcione ao aço as melhores propriedades mecânicas, sendo as principais a maior dureza e a resistência ao desgaste.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho se propõe a apresentar e discutir de forma abrangente os principais conceitos relacionados aos tratamentos térmicos que são aplicados em ligas metálicas especiais, comumente utilizadas na fabricação de ferramentas de corte e, em particular, na cutelaria.

### 2.1 Principais ligas

Os tipos de aço laminado mais comuns utilizados na confecção de facas e lâminas geralmente se enquadram nas seguintes categorias:

#### 2.1.1 Aço Carbono e Aço Carbono baixa liga

Aço carbono são aços cuja composição química é composta basicamente por ferro e carbono. A porcentagem de cada elemento vai variar de acordo com a utilização final do produto. Os mais comuns são a família SAE.

Exemplo, SAE - 1020 ele é composto por 0,20% de carbono. Esta família de aço é geralmente mais macia, facilitando assim seu uso em decorrência dessa propriedade que auxilia em sua modelagem. São bons para dar corte e quando perdem reafiam com facilidade.

Os aços classificados como aços de baixa liga são aqueles em que a presença dos elementos residuais está acima dos valores considerados normais, ou há a adição de outros elementos de liga, cujo teor não exceda aproximadamente 3.5%p, com o intuito de melhorar as propriedades desses aço (VASCONCELOS, 2018).

Os elementos mais comuns adicionadas são Cr e V.

#### 2.1.2 Aço Ferramenta

Aços ferramenta são aços carbono ou aços liga que possuem como características principais sua elevada dureza, resistência a abrasão e boa tenacidade utilizados nas mais diversas aplicações. Graças a sua grande variedade de ligas, outras características podem ser empregadas nesses tipos de aço, tais como a capacidade de manter suas propriedades mecânicas em altas temperaturas (DALLAGO, 2019).

#### 2.1.3 Aço Inoxidável

É um aço que possui adição de cromo para auxiliar na resistência a corrosão e acréscimo de outros elementos que ajudam na elevação do desempenho do material.

Uma liga a base de ferro com adições de cromo acima de 12% em massa apresenta resistência a oxidação ao ar em condições normais de temperatura e pressão devido a formação de uma camada superficial de óxido de cromo ( $Cr_2O_3$ ) que é impermeável ao  $O_2$ . Estes são

classificados de acordo com a sua microestrutura a temperatura ambiente sendo agrupados em cinco grupos: martensíticos, ferríticos, austeníticos, ferrítico-austenítico e os endurecedores por precipitação (VICENTE, 2017).

#### **2.1.4 Aços DAMASCO**

O aço damasco é uma peça que confere características visuais e funcionais únicas ao produto final, devido sua fabricação ter a mistura de um aço com alto teor de carbono e um aço com baixo teor de carbono. Ele é capaz de ser resistente a tração e maleável, porém mantendo uma dureza ideal para itens de cutelaria como facas e lâminas em geral. Seu uso, no lugar de aços mais comuns e de fácil fabricação, é devido as exclusivas marcas superficiais que ficam na lâmina do mesmo. O processo de caldeamento no aço damasco, faz com que os aços utilizados fiquem em camadas, podendo estas camadas serem manipuladas, afim de formarem desenhos na superfície, após os mesmos serem revelados com uso de um ácido (MARTINS, 2018).

Figura 1 – Faca em aço damasco

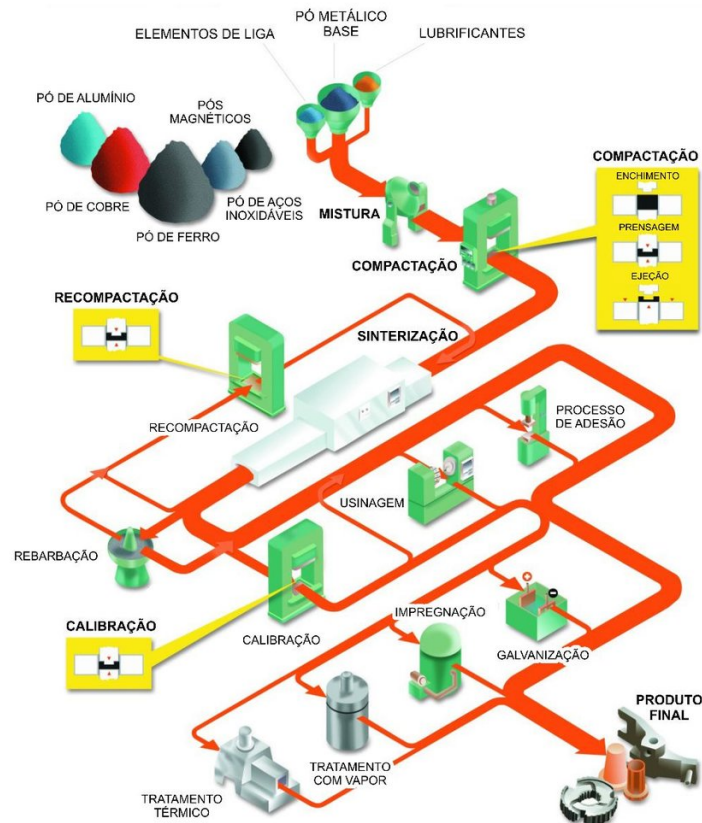


Fonte: (MARTINS, 2018).

#### **2.1.5 Aços produzidos via metalurgia do pó**

É um processo de fabricação pelo qual uma mistura de pós metálicos é compactada em matrizes formando peças "verdes" com a forma desejada, aquecidas (sintetizadas) em atmosfera controlada para ligar as superfícies de contato entre as partículas e eliminação dos vazios e, assim, ocorrer a consolidação num corpo denso, adquirindo a forma e as propriedades desejadas. Geralmente são realizadas operações secundárias (calibração, recompressão, infiltração, tratamentos térmicos, impregnação, usinagem) para melhorar a precisão dimensional, acabamento superficial, resistência mecânica, diminuir a porosidade e conferir as características especiais (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

Figura 2 – Etapas do Processo da Metalurgia do Pó



Fonte: (BRITO; MEDEIROS; LOURENÇO, 2007).

## 2.2 SAE 4130H

O material SAE 4130H é classificado como aço ligado para beneficiamento ou aço para construção mecânica. O mesmo é usualmente utilizado na indústria automotiva e petrolífera. Geralmente este material é encontrado na forma de tubos com ou sem costura, chapas ou tiras. Seu estado de fornecimento é geralmente normalizado (NBK) ou recozido (GBK) (STEYER, 2006).

O aço 4130H é uma liga de aço de baixa liga classificada na norma AISI/SAE (American Iron and Steel Institute / Society of Automotive Engineers), onde: "41" indica que é um aço ligado (liga de aço) contendo cromo (Cr) e molibdênio (Mo) como principais elementos de liga. "30" representa aproximadamente 0,30% de carbono, o que dá ao aço uma boa combinação entre resistência mecânica e soldabilidade. A letra "H" significa "Hardenability", ou seja, aços com requisitos garantidos de temperabilidade, normalmente estabelecidos por normas como a ASTM A304. Isso garante um desempenho previsível após tratamentos térmicos em componentes de diferentes espessuras.

Principais características do aço 4130H:

- Boa resistência mecânica e tenacidade

- Boa soldabilidade (melhor que aços de alto carbono)
- Excelente resposta ao tratamento térmico
- Utilizado sob altas tensões e pressões

Aplicações comuns:

- Componentes para a indústria aeronáutica
- Equipamentos para a indústria de petróleo e gás (ex: tubos, conexões de poço)
- Peças para automobilismo e motociclismo
- Estruturas e chassis tubulares

## 2.3 *Propriedades Estudadas*

### 2.3.1 *Tratamentos Térmicos*

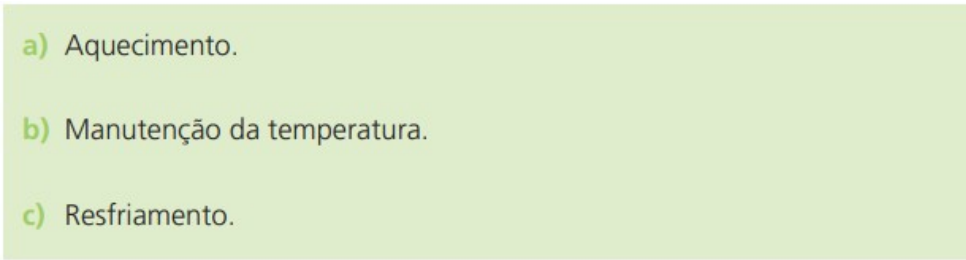
Operações de aquecimento e resfriamento controlados, que visam a afetar as características de aços e ligas especiais, são denominadas tratamentos térmicos (COSTA; MEI *et al.*, 2010).

A humanidade há milhares de anos (aproximadamente 1000 a.C.), descobriu os metais e as aplicações destes em seu cotidiano. Em seguimento, aprendeu que, com aquecimento e resfriamento desses metais, podia modificar suas propriedades mecânicas e metalúrgicas, tornando-os mais duros, trabalháveis, moles, resistentes, frágeis, dentre outras características (VALE, 2011).

Segundo (VALE, 2011) o tratamento térmico é o processo de aquecimento e resfriamento, em condições controladas de ligas metálicas, ferrosas e não ferrosas, onde se objetiva modificar as suas propriedades. Dessa forma obtém-se uma variedade de propriedades que permitem que as ligas sejam adequadas a diversas aplicações, conseguindo-se tais efeitos com reduzidos gastos financeiros.

O tratamento térmico pode ser executado basicamente, a partir de três fases principais:

Figura 3 – ETAPAS T.T.

- 
- a) Aquecimento.
  - b) Manutenção da temperatura.
  - c) Resfriamento.

Para (VALE, 2011) o tratamento térmico imprime as seguintes características aos materiais que passam por esse tipo de processo:

- Remoção de tensões internas.
- Aumento ou diminuição da dureza.
- Aumento da resistência mecânica.
- Melhoria da ductilidade.
- Melhoria da usinabilidade.
- Melhoria da resistência ao desgaste.
- Melhoria da resistência à corrosão.
- Melhoria da resistência ao calor.
- Melhoria das propriedades elétricas e magnéticas.

### **2.3.2 *Ensaio Mecânicos***

A determinação das propriedades mecânicas de um material metálico é realizada por meio de vários ensaios. Geralmente esses ensaios são destrutivos, pois promovem a ruptura ou a inutilização do material. Existem ainda os ensaios chamados não-destrutivos, utilizados para determinação de algumas propriedades físicas do metal, bem como para detectar falhas internas do mesmo. Na categoria dos ensaios destrutivos, estão classificados os ensaios de tração, dobramento, flexão, torção, fadiga, impacto, compressão e outros. O ensaio de dureza, que, embora possa, em certos casos, não inutilizar a peça ensaiada, também está incluído nessa categoria. Dentre os ensaios não-destrutivos, estão os ensaios com raios X, ultra-som, Magnaflux, elétricos e outros. O assunto deste livro refere-se somente aos ensaios mecânicos destrutivos (SOUZA, 1982).

Esses ensaios são conduzidos seguindo normas técnicas padronizadas, como ASTM ou ISO, que garantem a confiabilidade e a comparabilidade dos resultados. Por exemplo, o ensaio de tração avalia a resistência e a deformação do aço quando submetido a esforços axiais, enquanto o ensaio de impacto mede sua tenacidade em condições de choque. O ensaio de dureza determina a resistência à penetração, e o de compressão avalia sua capacidade de suportar cargas compressivas. Juntos, esses testes fornecem uma visão abrangente do comportamento mecânico do aço, permitindo sua aplicação segura e eficiente em setores como construção civil, automotivo, aeronáutico e manufatura.

Os ensaios mecânicos são realizados pela aplicação, em um material, de um dos tipos de esforços possíveis (tração, compressão, flexão, torção, cisalhamento e pressão interna), para determinar a resistência do material a cada um desses esforços (SOUZA, 1982).

Segundo (SOUZA, 1982) a escolha do ensaio mecânico mais interessante ou mais adequado para cada produto metálico depende da finalidade do material, dos tipos de esforços que esse material vai sofrer e das propriedades mecânicas que se deseja medir. Em geral, existem especificações para todo o tipo de produto metálico fabricado e nestas especificações constam os ensaios mecânicos que devem ser realizados para se saber se tal pro-duto está em conformidade com a finalidade proposta. Dois fatores determinantes para a realização de um dado tipo de ensaio mecânico.

### **2.3.3 Ensaio Metalográficos**

A metalografia é um método de análise científica que estuda a estrutura microscópica dos metais e suas ligas. Por meio de cortes específicos, polimentos detalhados e tratamentos químicos bem definidos, é possível visualizar as fases, os grãos, as inclusões, porosidades e outros elementos essenciais. Esses fatores influenciam diretamente as propriedades mecânicas, resistência ao desgaste e vida útil dos materiais (Rijeza, 2025).

O procedimento envolve a preparação cuidadosa do corpo de prova, que inclui corte, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico com reagentes específicos para revelar a microestrutura. A amostra preparada é analisada ao microscópio óptico ou eletrônico, possibilitando a observação detalhada da composição estrutural. Essa análise é fundamental em setores como o automobilístico, aeroespacial e construção civil, pois auxilia na detecção de possíveis falhas e na otimização de processos industriais relacionados ao uso do aço.

Segundo (LabMetal, 2021) o ensaio metalográfico é essencial para a compreensão e o desenvolvimento de materiais metálicos. Alguns dos benefícios e aplicações deste ensaio incluem:

- Avaliação da qualidade e integridade dos materiais;
- Identificação de fases, inclusões, defeitos e microestruturas;
- Adequação de tratamentos térmicos e processos de fabricação;
- Estudo de propriedades mecânicas, como dureza e tenacidade;
- Auxílio na resolução de problemas e análise de falhas.

### **2.3.4 Propriedades Químicas**

O ensaio de propriedades químicas em aços é realizado para identificar a composição química do material, garantindo que ele atende aos requisitos específicos de desempenho e aplicação. Esse ensaio envolve a análise dos elementos químicos presentes no aço, como carbono, manganês, silício, enxofre, fósforo, e outros elementos de liga, como cromo, níquel e molibdênio.

Métodos como espectrometria de emissão ótica (OES), fluorescência de raios X (XRF) ou análise química via absorção atômica são utilizados para determinar a concentração exata desses elementos, que influenciam diretamente propriedades como resistência mecânica, ductilidade, dureza e resistência à corrosão.

A análise química dos aços é fundamental para garantir a qualidade do material e sua adequação para aplicações específicas, como em indústrias automotivas, construção civil, aeroespacial e ferramentas. Este ensaio permite verificar a conformidade com normas técnicas e detectar possíveis impurezas ou desvios na composição que poderiam comprometer o desempenho do material em serviço. Além disso, ele auxilia no desenvolvimento de novas ligas e no controle de qualidade durante o processo de fabricação.

Os elementos de liga como Molibdênio (Mo), Enxofre (S), Nióbio (Nb), Titânio (Ti) e Vanádio (V) desempenham papéis fundamentais no aprimoramento das propriedades mecânicas do aço. O Molibdênio aumenta a resistência ao calor e a dureza ao refinar a estrutura da martensita e retardar a transformação da austenita durante o resfriamento. Isso confere ao aço uma maior resistência ao desgaste e à fluência.

O Nióbio, o Titânio e o Vanádio agem como potentes formadores de carbonetos e nitretos, refinando o tamanho dos grãos durante o processamento térmico. O Nióbio ajuda a controlar o crescimento dos grãos austeníticos, aumentando a resistência mecânica e a tenacidade. O Titânio, além de formar partículas estáveis que fixam os limites de grão, também contribui para a resistência ao desgaste. Já o Vanádio melhora a resistência ao impacto e a dureza ao formar carbonetos finamente dispersos, fortalecendo a matriz do aço sem comprometer significativamente sua ductilidade.

Em contra partida, o Enxofre, geralmente considerado um elemento indesejado por causar fragilidade, pode ser benéfico em quantidades controladas ao formar sulfetos, o que melhora a usinabilidade do aço. Esses sulfetos atuam como lubrificantes internos durante processos de corte, facilitando a remoção de cavacos. Assim, a combinação estratégica desses elementos permite a produção de aços de alta performance, equilibrando resistência, dureza, tenacidade e facilidade de processamento.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 *Composição Química*

A composição química do aço é um fator determinante para suas propriedades mecânicas e, conseqüentemente, para sua aplicação industrial. A presença e a proporção de cada elemento influenciam diretamente características como resistência, dureza, ductilidade e tenacidade.

Todos os elementos químicos presentes no aço estão em quantidades controladas, sendo cuidadosamente ajustados durante o processo de fabricação. Esse controle é essencial para otimizar as propriedades mecânicas do material, garantindo que ele atenda aos requisitos específicos para diferentes usos industriais.

#### 3.2 *Tratamento Térmico*

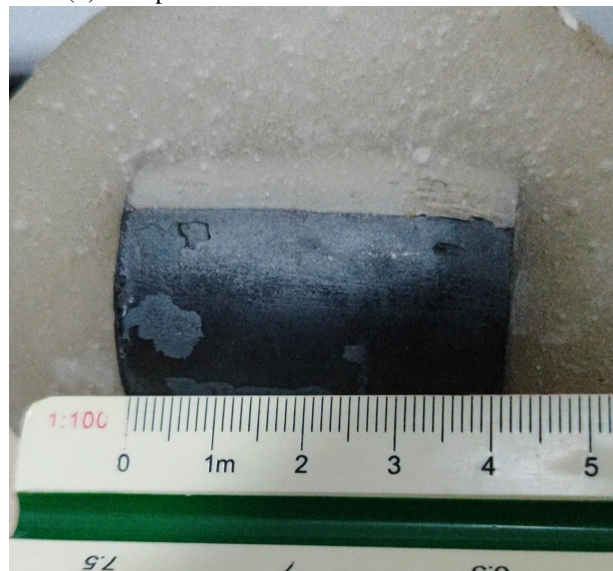
O desenvolvimento do tratamento térmico a 840°C seguiu um procedimento cuidadoso para garantir resultados precisos. Inicialmente, foi necessário pré-aquecer o forno a 880°C. Esse passo é essencial porque, ao abrir o forno para inserir as amostras, há uma inevitável perda de calor para o ambiente, causando uma queda momentânea na temperatura. Assim, ao partir de uma temperatura superior, é possível compensar essa redução e assegurar que o forno retorne rapidamente ao valor desejado de 840°C após ser fechado.

Figura 4 – Preparação das amostras utilizadas no trabalho.

(a) Corte das amostras na serra polícorde.



(b) Comprimento do CP utilizado no trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Após a introdução das amostras, monitorou-se atentamente a temperatura para garantir sua estabilização em 840°C. Esse controle térmico é crucial, pois variações podem comprometer a microestrutura do material, afetando diretamente suas propriedades mecânicas. O equilíbrio

térmico foi alcançado rapidamente devido ao pré-aquecimento, permitindo que o tratamento ocorresse em condições ideais.

Figura 5 – Forno MUFLA utilizado para o tratamento Térmico.

(a) Pré aquecimento.



(b) Temperatura final.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As quatro amostras permaneceram no forno pelo período de 1 hora, tempo necessário para que ocorresse a homogeneização térmica em toda a sua extensão. Esse intervalo foi definido com base nas características do material e nos objetivos do tratamento térmico. Ao final desse tempo, o resfriamento seguiu conforme o procedimento estabelecido, completando a etapa fundamental para a obtenção das propriedades desejadas.

Figura 6 – Amostras sendo colocadas no forno



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

### 3.3 Metalografia

O ensaio de microestrutura é uma técnica da metalografia utilizada para analisar a estrutura interna dos materiais, principalmente metais e ligas, permitindo a observação de grãos, fases, inclusões e defeitos microscópicos. Esse ensaio é essencial para entender as propriedades mecânicas dos materiais, já que características como tamanho de grão, presença de precipitados ou porosidades influenciam diretamente seu comportamento em serviço. A microestrutura é observada com auxílio de um microscópio óptico ou eletrônico, após a preparação adequada das amostras.

Figura 7 – MICROSCÓPIO utilizado para fazer análise.

(a) Microscópio óptico.



(b) Modelo utilizado para o trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 8 – Preparação para embutimento dos CP's



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A preparação das amostras é uma etapa crítica para garantir a precisão dos resultados.

O processo inicia-se com o corte da amostra, que deve ser feito de forma cuidadosa para evitar alterações térmicas ou mecânicas que possam modificar a microestrutura. Em seguida, realiza-se o embutimento (quando necessário) para facilitar o manuseio, especialmente em materiais pequenos ou de formato irregular. Depois, a amostra passa pelas etapas de lixamento e polimento, usando lixas de granulações progressivamente mais finas e, posteriormente, pastas abrasivas, até que a superfície apresente um acabamento espelhado, livre de riscos e deformações.

Figura 9 – Preparação das amostras para realizar a Microestrutura.

(a) Polimento das amostras.



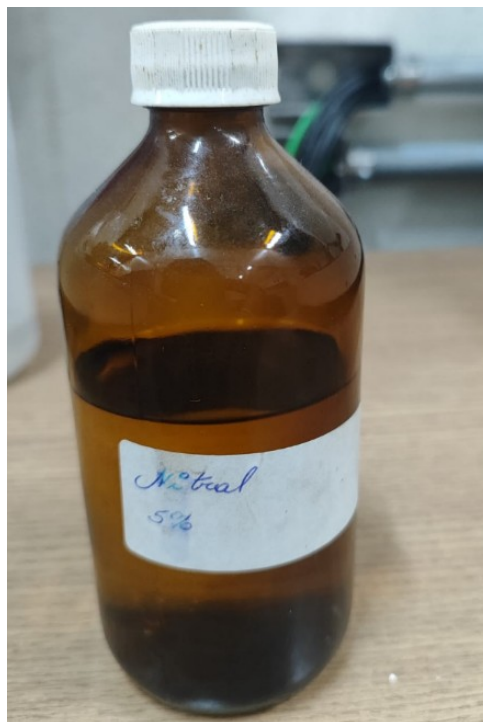
(b) Amostra polida.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

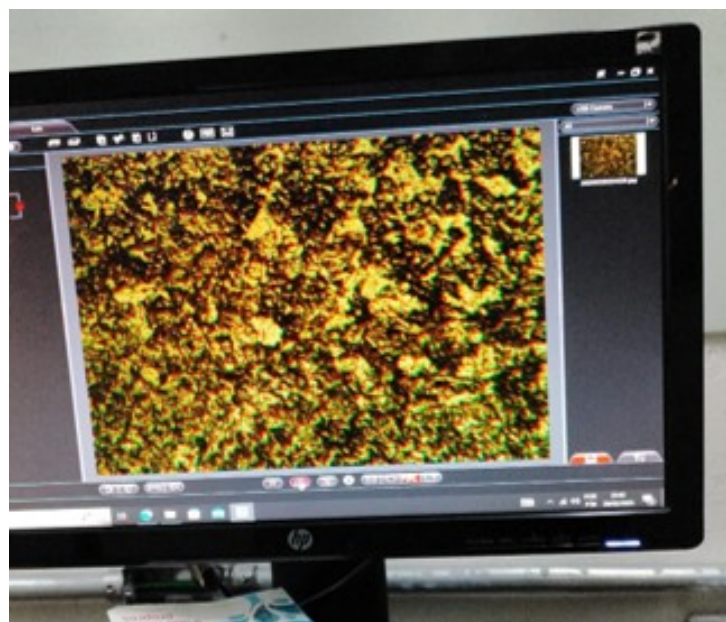
Outro ponto crucial é a revelação da microestrutura, obtida por meio do ataque químico. Essa etapa consiste em aplicar um reagente químico específico à superfície polida da amostra, que reage seletivamente com certos constituintes do material, tornando visíveis os contornos de grãos, fases ou outros detalhes estruturais. A escolha do reagente depende do tipo de material a ser analisado — por exemplo, ácidos como nital (mistura de ácido nítrico e álcool) são usados para aços carbono. O tempo de ataque precisa ser controlado com precisão para evitar a super ou sub-revelação da estrutura. Na realização do ensaio, a amostra preparada é analisada sob o microscópio, e as imagens obtidas podem ser usadas para determinar o tamanho médio dos grãos, a distribuição das fases e a presença de defeitos como trincas ou inclusões.

Figura 10 – Reagente utilizado no trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 11 – Visualização da microestrutura encontrada no CP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

### 3.4 *Ensaio de Dureza*

O ensaio de dureza HRC (Rockwell C) é um método amplamente utilizado para medir a dureza de materiais metálicos, especialmente aços temperados. Esse teste utiliza uma ponteira

de diamante em formato de cone, chamada de penetrador cônico, com um ângulo de  $120^\circ$  na ponta e um raio arredondado de 0,2 mm na extremidade. O processo é realizado em duas etapas principais: aplicação de uma carga preliminar, seguida pela carga principal, para determinar a profundidade da penetração no material testado.

Primeiramente, aplique-se uma carga preliminar de 10 kgf (quilogramas-força) para assentar a ponteira e eliminar quaisquer influências superficiais, como óxidos ou impurezas. Em seguida, adicione-se a carga principal de 140 kgf, totalizando 150 kgf de força aplicada. A carga é mantida por um período específico para garantir que a penetração seja estável e precisa. Após esse tempo, a carga principal é removida, deixando apenas a carga preliminar, e a profundidade final da penetração é registrada.

Figura 12 – Durômetro de bancada utilizado no trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 13 – Durômetro de bancada.

(a) Durômetro de bancada utilizado.



(b) Modelo do durômetro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O valor de dureza HRC é então calculado automaticamente pelo próprio equipamento, com base na diferença entre a posição inicial e final da ponteira, convertendo essa profundidade em um número de dureza Rockwell. O resultado é exibido em uma escala que vai de 0 a 100 HRC, onde valores mais altos indicam materiais mais duros. Esse método é rápido, não exige medições ópticas complexas, e é ideal para testes em amostras pequenas ou superfícies tratadas termicamente.

Figura 14 – Ensaio de dureza sendo realizado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O ensaio de dureza HRC foi realizado em cinco pontos diferentes de cada amostra, garantindo uma distribuição adequada da precisão ao longo da superfície. Essa abordagem permite avaliar a uniformidade da dureza e identificar possíveis variações, garantindo maior precisão e confiabilidade nos resultados obtidos.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 *Análise Química*

A análise química do aço foi realizada com o objetivo de determinar a concentração dos elementos presentes em sua composição. Esse processo é essencial para garantir que o material atenda às especificações técnicas exigidas, visto que a variação nos teores de carbono, manganês, cromo, entre outros elementos, influencia diretamente as propriedades mecânicas do aço.

Tabela 1 – Composição química (% em peso) do aço utilizado

Al	C	Cr	S	P	Mn	Mo	Nb	Ni	Si	Ti	V
0- 99,99	034- 0,44	0- 0,35	0,75- 1,2	0- 0,04	0- 0,03	0,65- 1,1	0- 99,99	0- 0,25	0,15- 0,35	0- 99,99	0- 99,99

Fonte: VALLOUREC, 2025.

### 4.2 *Tratamento Térmico*

Durante o tratamento térmico do aço a 840°, os CPs foram submetidos a aquecimento até atingirem essa temperatura e, em seguida, retirados do forno, conforme ilustrado na Figura 15. A Figura 16 apresenta uma tabela que correlaciona as cores observadas no aço com as respectivas temperaturas de aquecimento. Nessa temperatura, o aço geralmente exibe uma tonalidade entre vermelho-claro e laranja-avermelhado, como pode ser visto na Figura 15.

Essa tabela padrão de cores de têmpera, serve como um indicador visual para confirmar que a peça está na temperatura adequada para processos como a austenitização. Esse controle é crucial para garantir que a microestrutura do aço evolua conforme o planejado, promovendo as propriedades mecânicas desejadas, como dureza, resistência e ductilidade. Portanto, a correspondência da cor observada à cor especificada na tabela é uma etapa fundamental para assegurar a qualidade e a repetibilidade do tratamento térmico.

Figura 15 – Coloração das amostras após retirada do forno.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 16 – Tabela com as cores e temperaturas de lâminas

ETAPA TRATAMENTO TÉRMICO	GRAUS CELSIUS	COR DO AÇO
Forjamento e Têmpera	1.100 °	Amarelo brilhante
	1.040 °	Amarelo escuro
	980 °	Laranja amarelo
	925 °	laranja
	870 °	Laranja Vermelho
	815 °	Vermelho brilhante
	760 °	Vermelho
	705 °	Vermelho médio
	650 °	Vermelho escuro
	537 °	Ligeiramente vermelho
	482 °	Vermelho muito sutil, principalmente cinzento

Fonte: (Blog do Cuteleiro, 2025).

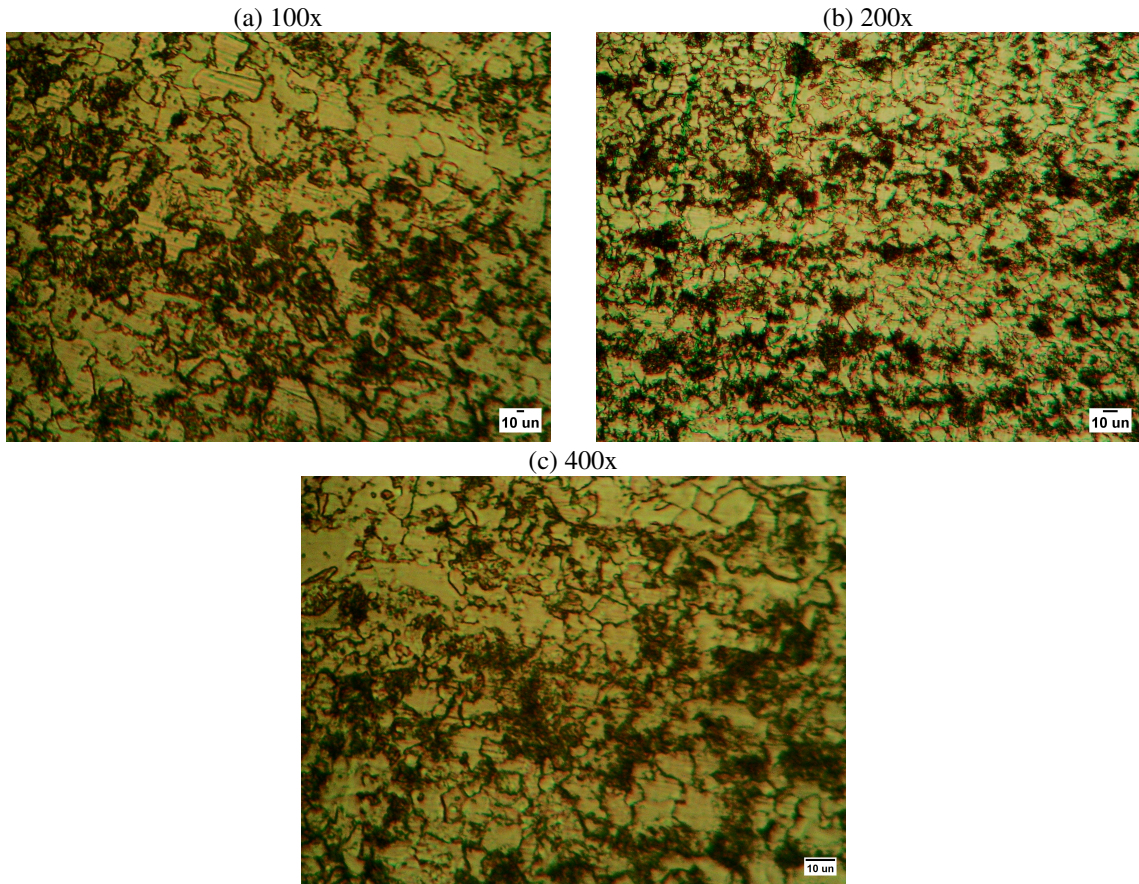
### 4.3 Metalografia

Os materiais resfriados ao ar tendem a desenvolver uma microestrutura composta predominantemente por perlita e ferrita, na Figura 18 podemos ver claramente esta microestrutura. O resfriamento mais lento permite que a difusão dos átomos ocorra de forma controlada, promovendo a formação de lamelas de perlita e regiões de ferrita, resultando em um equilíbrio entre dureza e ductilidade. Esse tipo de microestrutura oferece maior resistência ao impacto e maior capacidade de deformação plástica, sendo geralmente preferida quando se busca um material com melhor combinação entre resistência mecânica e tenacidade.

A microestrutura de materiais resfriados em água geralmente é caracterizada pela formação de martensita, uma fase dura e frágil resultante do resfriamento rápido. Esse resfriamento abrupto impede a difusão dos átomos de carbono, causando uma transformação quase instantânea da austenita em martensita. Como consequência, a microestrutura apresenta agulhas finas e desordenadas como podemos ver na Figura 19, conferindo ao material elevada dureza, mas também menor tenacidade, tornando-o mais suscetível a trincas e fraturas, especialmente sob cargas dinâmicas.

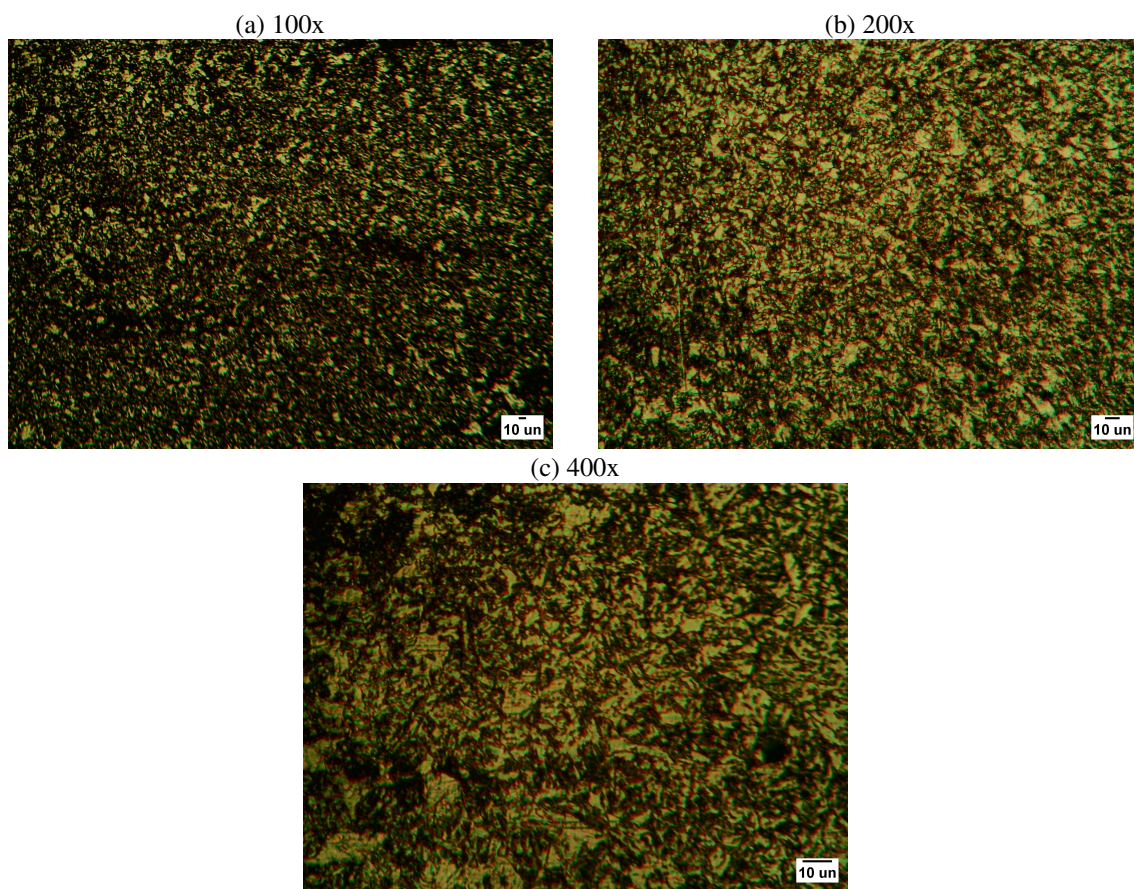
Para uma melhor visualização e análise das microestruturas do aço, as imagens obtidas durante o ensaio metalográfico foram capturadas com ampliações de 100x, 200x e 400x. Essas diferentes ampliações permitiram a observação detalhada dos grãos, fases e possíveis inclusões presentes no material, proporcionando uma avaliação mais precisa da sua morfologia e distribuição microestrutural.

Figura 17 – Microestrutura encontrada no material recebido.



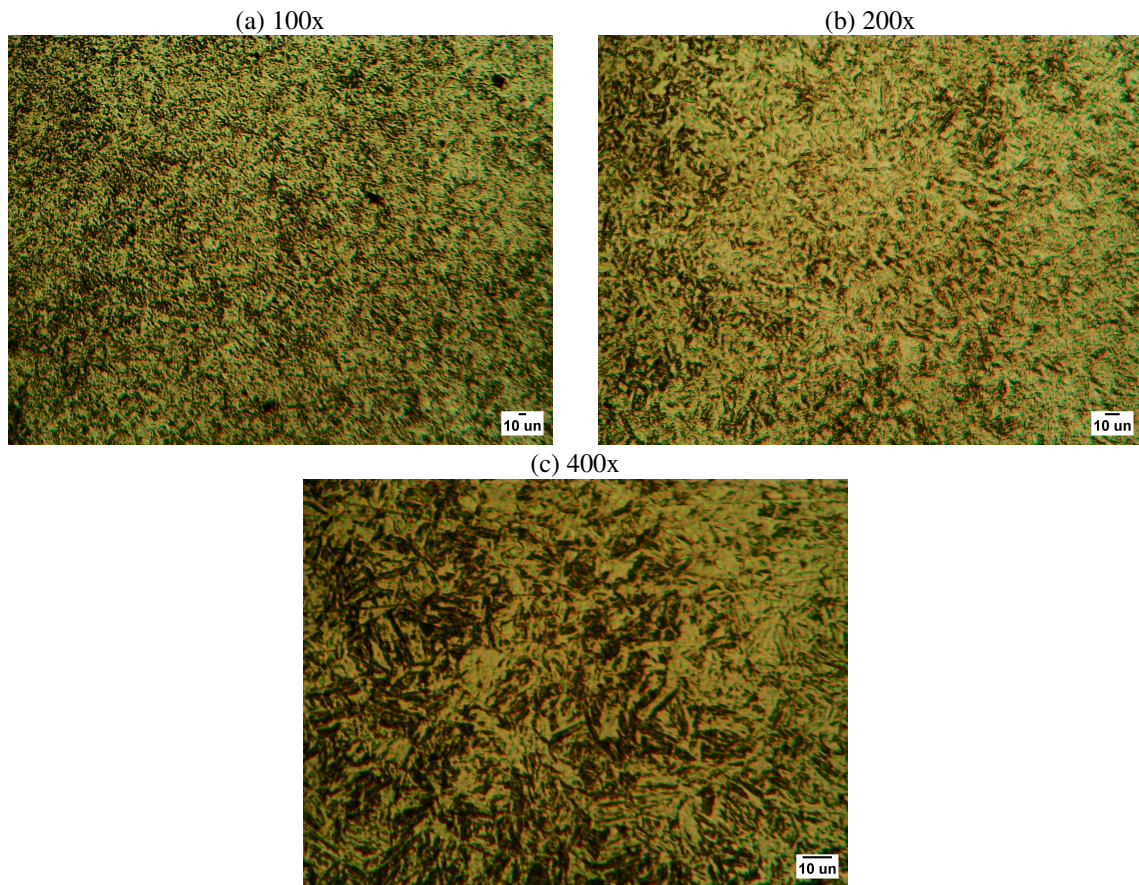
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 18 – Microestrutura obtida no material resfriado ao ar.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 19 – Microestrutura resultante do material resfriado em água.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

#### 4.4 Ensaio de Dureza

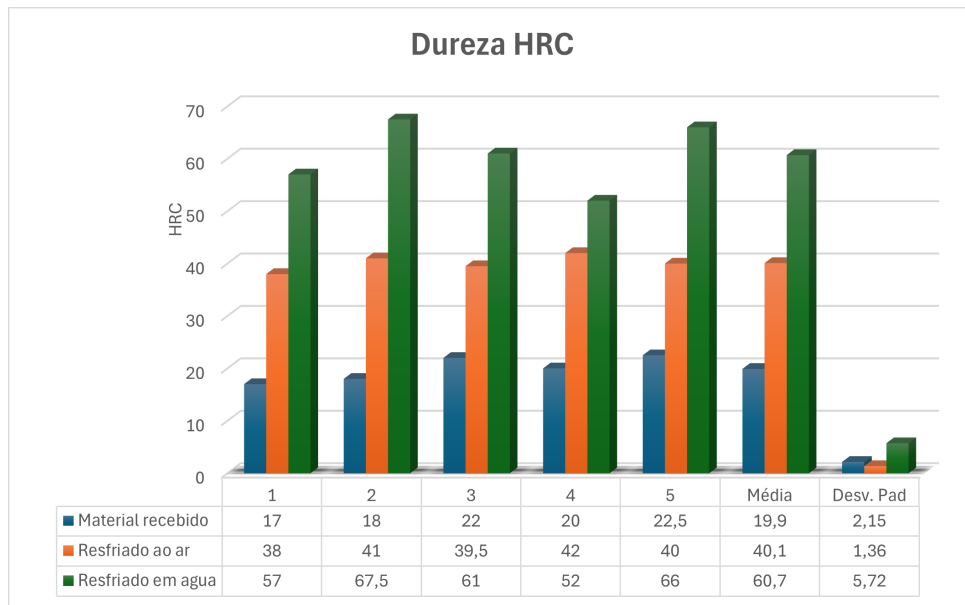
Os resultados do ensaio de dureza HRC foram obtidos a partir de três amostras em estados distintos (como recebido, resfriado em ar e resfriado em água), permitindo a comparação entre as diferentes condições. Para cada amostra, as medições foram realizadas em cinco pontos ao longo da superfície, com o objetivo de garantir a representatividade dos valores e identificar possíveis variações locais.

Tabela 2 – Resultado de dureza Rockwell C(HRC)

Teste	Material recebido	Resfriado ao ar	Resfriado em água
1	17	38	57
2	18	41	67,5
3	22	39,5	61
4	20	42	52
5	22,5	40	66
Média	19,9	40,1	60,7
Desv. Pad.	2,15	1,36	5,72

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 20 – Gráfico de Dureza.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A presença de vanádio no aço contribuiu significativamente para o aumento da dureza, especialmente após tratamento térmico. Quando o material é resfriado em água, o rápido resfriamento impede a difusão dos átomos e promove a formação de uma estrutura extremamente dura. Devido à ação do vanádio, a dureza do aço resfriado em água torna-se ainda maior em comparação ao material no estado recebido e ao material resfriado em ar. O resfriamento em ar, sendo mais lento, favorece a formação de fases menos duras, como a perlita, resultando em uma dureza inferior à do material resfriado em água.

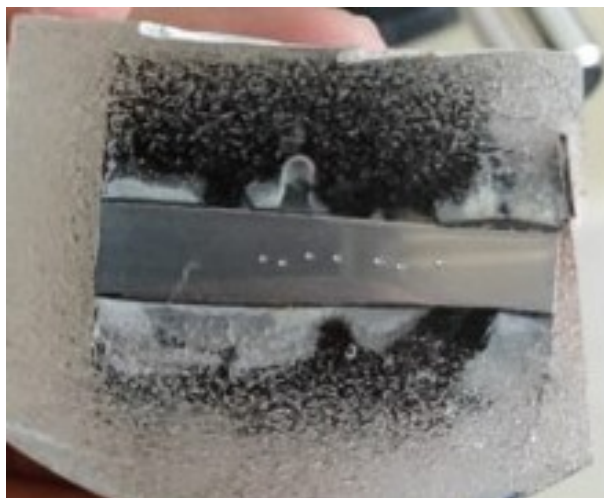
A diferença de dureza entre o resfriamento em água e em temperatura ambiente após o tratamento térmico está diretamente relacionada à velocidade de resfriamento do material e às transformações de fase no aço.

Durante o aquecimento o aço é aquecido a uma temperatura elevada formando uma estrutura austenita. A austenita é uma fase cristalina capaz de dissolver mais carbono. No resfriamento em água (têmpera) o aço é resfriado rapidamente, a transformação da austenita para martensita ocorre. A martensita é uma fase dura e frágil porque sua estrutura cristalina é altamente distorcida. Essa distorção gera tensões internas que aumentam a dureza do material.

No resfriamento lento (ao ar) a austenita se transforma em perlita ou ferrita e cementita estruturas mais equilibradas e menos tensas, resultando em um aço mais macio e dúctil.

A água promove uma extração de calor muito mais rápida do que o ar, acelerando a transformação martensítica. Por isso, o aço resfriado em água acaba sendo bem mais duro que o resfriado ao ar.

Figura 21 – CP após ensaio de dureza.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

## 5 CONCLUSÃO

A realização dos ensaios de microestrutura e dureza desempenha um papel fundamental na seleção adequada de materiais, especialmente em aplicações industriais que exigem alta performance e durabilidade. A análise microestrutural permite compreender as características internas dos materiais, como a distribuição de fases, o tamanho de grãos e a presença de defeitos, informações essenciais para prever seu comportamento mecânico sob diferentes condições de uso.

O processo de resfriamento é um fator determinante na obtenção das propriedades mecânicas desejadas em lâminas de corte. O resfriamento em ar, por ser mais lento, resulta em uma estrutura micrográfica com grãos maiores, o que tende a produzir lâminas menos duras, mas com maior tenacidade. Por outro lado, o resfriamento em água, que ocorre de forma mais rápida, gera uma microestrutura com grãos menores, resultando em maior dureza superficial e, conseqüentemente, lâminas mais resistentes ao desgaste.

O ensaio de dureza complementa a análise microestrutural ao fornecer dados quantitativos sobre a resistência superficial do material contra deformações e desgastes. As lâminas resfriadas em água costumam apresentar valores de dureza superiores, o que é vantajoso para aplicações que exigem cortes precisos e duradouros. No entanto, a maior dureza pode vir acompanhada de uma fragilidade aumentada, tornando essencial equilibrar esses fatores conforme a finalidade da ferramenta.

Portanto, a escolha do meio de resfriamento — ar ou água — deve ser feita com base nos requisitos específicos de cada aplicação. Para lâminas de corte que demandam alta resistência ao desgaste, o resfriamento em água é geralmente mais indicado. Já para aquelas que precisam de maior flexibilidade e resistência a impactos, o resfriamento em ar pode ser a opção mais adequada. A integração dos ensaios de microestrutura e dureza é crucial para guiar essa decisão, assegurando a construção de lâminas eficientes e duráveis.

## REFERÊNCIAS

- Blog do Cuteleiro. **Temperatura para Tratamento Térmico de Aços**. 2025. Acesso em: 21 maio 2025. Disponível em: <<https://blog.lojadocuteleiro.com.br/temperatura-para-tratamento-termico-de-acos/>>.
- BRITO, F. I. G. de; MEDEIROS, K. F.; LOURENÇO, J. M. Um estudo teórico sobre a sinterização na metalurgia do pó. **Holos**, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, v. 3, p. 204–211, 2007.
- COSTA, A. L. V. da; MEI, P. R. *et al.* **Aços e ligas especiais**. [S.l.]: Editora Blucher, 2010.
- DALLAGO, L. Análise da resistência a corrosão em aços ferramenta. Universidade Federal do Pampa, 2019.
- FORTUNA, G. N.; MILANEZ, M.; ROSA, M. da. Desenvolvimento de protótipo de um aquecedor indutivo para cutelaria artesanal. **Revista Vincci-Periódico Científico do UniSATC**, v. 5, n. 1, p. 151–172, 2020.
- GALLINA, B.; BIEHL, L. V.; MEDEIROS, J. L. B.; SOUZA, J. d.; ROSSINI, E. G. Estudo dos efeitos do tratamento térmico nos aços hardox® 500 e strenx® 700. In: EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL. **CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS: PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS EM PESQUISA**. [S.l.], 2022. v. 1, p. 131–142.
- KIMINAMI, C. S.; CASTRO, W. B. de; OLIVEIRA, M. F. de. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. [S.l.]: Editora Blucher, 2013.
- LabMetal. **Ensaio metalográfico e a estrutura de materiais metálicos**. 2021. Acesso em: 21 maio 2025. Disponível em: <<https://www.labmetalvale.com.br/blog/ensaios/ensaio-metalografico>>.
- MARTINS, J. H. Avaliação das propriedades mecânicas do aço damasco sae 5160 com sae 1020 para fabricação de facas artesanais. **Conformação**, 2018.
- Rijeza. **Metalografia: o que é e para que é utilizada essa análise?** 2025. Acesso em: 21 maio 2025. Disponível em: <<https://rijeza.com.br/blog/metalografia-o-que-e-e-para-que-e-utilizada-essa-analise/>>.
- SOUZA, S. A. D. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos: Fundamentos teóricos e práticos**. [S.l.]: Editora Blucher, 1982.
- STEYER, V. Eixos tubulares em material sae 4130h com camada cementada na parte externa e interna. 2006.
- VALE, A. R. M. do. Tratamento térmico. **Belém: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)**, 2011.
- VASCONCELOS, M. F. L. Estudo dos efeitos dos principais elementos de liga nos aços carbono, aços baixa liga e aços alta liga. 2018.
- VICENTE, A. d. A. **Estudo da resistência à oxidação ao ar a altas temperaturas de um aço inoxidável austenítico microligado ao cério soldado pelo processo mig/mag com diferentes gases de proteção**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017.