

ANÁLISE DA MICROESTRUTURA E DUREZA DO AÇO 5160 SUBMETIDO AO PROCESSO DE TÊMPERA E REVENIMENTO EM VARIADAS TEMPERATURAS

Bruno C. Stachera¹

RESUMO: Devido ao grande crescimento da cutelaria artesanal no Brasil, vários tipos de aço, variações de tratamento térmico e formas de fabricação vem sendo discutidos nos meios formais e informais. Estas variações buscam obter, em geral, uma lâmina com resistência, qualidade do material e durabilidade do fio, conciliados com a facilidade de afiação e manutenção das peças na residência do cliente, não necessitando serem enviadas ao couteiro. Durante este processo de fabricação, a etapa mais importante para que os requisitos sejam atendidos é a do tratamento térmico no aço escolhido. No caso em questão será utilizado aço SAE 5160 devido a sua versatilidade e facilidade de trabalho, possuindo temperaturas de têmpera normalmente estipuladas em torno de 850°C e de revenimento na faixa de 200°C, atingindo durezas de 56 a 68HRc. Os estudos do presente projeto foram realizados a partir de amostras de aço SAE 5160 virgens, trefiladas a fio em forma de tarugos com 25,4mm de espessura e, em seguida, temperadas em temperaturas variando de 780°C a 900°C e posteriormente revenidas em um ciclo, variando as temperaturas de 180°C a 300°C. A partir disso, as amostras serão levadas ao laboratório para ensaios metalográficos e análise de sua microestrutura e dureza, visando atingir a melhor combinação para uso em lâminas.

PALAVRAS-CHAVE: Aço SAE 5160, têmpera, revenimento, microestrutura, cutelaria.

1. INTRODUÇÃO

Com o cenário da cutelaria artesanal em grande desenvolvimento no Brasil, muito se discute sobre temperaturas e formas de tratamento térmico de cada liga de aço utilizada para fabricação destas lâminas. As técnicas utilizadas atualmente baseiam-se, em sua grande maioria, em conhecimentos adquiridos por couteiros por meio de tentativa e erro, analisando os resultados apenas de forma superficial, sem estudos de sua estrutura metalográfica.

A fabricação destas lâminas se dá pela conformação do material pelo processo conhecido como forjamento, que consiste em uma operação mecânica que através da

deformação plástica orientada se consegue dar formas variadas aos metais (ADAMI, 1979). Este forjamento pode ser efetuado utilizando uma matriz fechada, em que o material adquire o formato da cavidade esculpida na matriz aplicando-se pressão no metal quente contra a matriz, seja por meio de sistema hidráulico ou por impacto, ou por meio de um forjamento de matriz aberta ou forjamento simples, que consiste em um processo de preparação de produtos com geometria simples, sem utilização de matrizes com geometria definida do produto final. (MACIEL, 2017)

Como consequência do processo de forjamento, tensões internas no material são geradas, podendo ocasionar trincas e quebra do produto final. Visando aliviar estas tensões e uniformizar a estrutura do metal utilizado, alguns processos de tratamento térmico devem ser realizados, sendo eles o recozimento, e revenimento. (CUNHA, 1985)

Com isto, o intuito do presente estudo é de analisar os processos de tempera e revenimento em diferentes temperaturas visando uma estrutura metalográfica martensítica, aliando a dureza e tenacidade para utilização em lâminas artesanais utilizando o aço SAE 5160, tendo propriedades químicas e mecânicas que favoreceram o projeto. Estas propriedades podem ser citadas como o Cromo, dando ao material uma maior resistência a corrosão, a facilidade de atingimento de temperaturas de têmpera, revenimento e de forjamento do aço, além de atingir bons níveis de dureza, tendo assim uma maior retenção de fio e resistência a desgastes no uso.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AÇO SAE 5160

O aço SAE 5160 é amplamente utilizado na fabricação de feixes de molas, molas helicoidais, lâminas, eixos automotivos e pinos, tendo como características principais uma boa temperabilidade, resistência a tração e fadiga e boas propriedades acima de 300°C. Temperado, sua dureza varia de 56 a 68HRC, restando boa parte da dureza após o revenimento das peças. (AÇOSPORTE)

Seu teor de carbono é considerado médio, sendo suas propriedades químicas representadas na tabela abaixo:

Tabela 1 – Composição química do aço 5160

Elemento	% do peso
Ferro (Fe)	97.085 – 97.084
Manganês (Mn)	0.75 – 1.00
Cromo (Cr)	0.7 – 0.9
Carbono (C)	0.560 – 0.640
Fósforo (P)	0.035 máximo
Silício (Si)	0.15 – 0.30
Enxofre (S)	0.04 máximo

Fonte: Açosnobre (2022)

2.2 TRATAMENTO TÉRMICO DO AÇO SAE 5160

O tratamento térmico é efetuado por meio do aquecimento das peças e em seguida um resfriamento brusco. Com isso acontece a alteração das condições físicas do aço, tornando-o mais resistente, mais duro ou mais macio, de acordo com o processo a ser realizado (CUNHA, 1985).

Este tratamento pode ser subdividido em diversos processos, tendo como principais a normalização, recozimento, têmpera e revenimento. De acordo com BERARDO, os passos necessários para um bom tratamento térmico do aço 5160 para uso na cutelaria são, respectivamente, a normalização, têmpera e revenimento, sendo o recozimento em materiais virgens (sem utilização anterior) dispensável, pois a normalização o torna macio para trabalho.

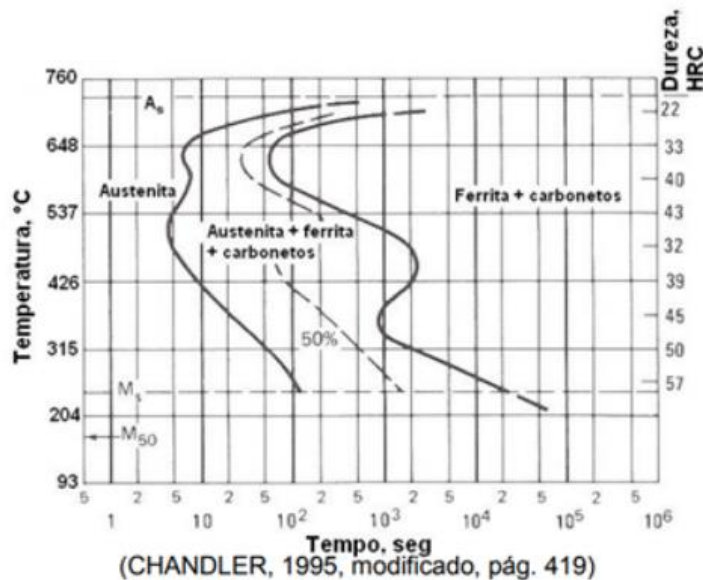
A normalização é o processo realizado visando o afinamento do grão e obtenção de uma estrutura homogênea, retirando as tensões e substituindo a microestrutura oriunda da fundição ou processamento do material. O processo consiste

em aquecer o aço até a sua temperatura de austenitização, conforme o diagrama ferro carbono, mantendo a temperatura durante um período determinado até que haja o total encharque térmico das peças. O resfriamento das peças é realizado à temperatura ambiente, sem interferência na troca térmica com o ambiente. A temperatura estipulada para normalização do aço 5160 é de 870°C, resultando em uma estrutura molecular de granulação fina e já preparada para a têmpera. (BERARDO, 2018)

Para têmpera recomenda-se utilizar a faixa de 830°C a 850°C resfriando o material em óleo para têmpera. Esta combinação busca uma estrutura final martensítica, o que trará como resultado final um material mais duro do que o aço sem têmpera, resistindo aos usos comuns de uma lâmina. Como resultado desta têmpera o material se torna menos tenaz e apresenta tensões internas, o que facilita a quebra ou defeitos no produto final, devendo ser utilizado o tratamento térmico de revenimento para alívio das tensões, organização da estrutura metalográfica e diminuição da dureza até o ponto desejado (AÇOSNOBRE).

O revenimento se trata do tratamento térmico que visa eliminar os resultantes inconvenientes da têmpera, reduzindo ou removendo as tensões internas e corrigindo o excesso de dureza visando eliminar a fragilidade do aço, aumentando sua tenacidade e resistência a eventuais choques. Este revenimento ocorrerá como um processo de aquecimento da peça já temperada até a temperatura desejada em um ou mais ciclos, em casos de aço SAE 5160 em dois ciclos de 180°C a 210°C, dependendo da dureza que se quer obter, em forno com temperatura controlada, deixando o material resfriar ainda no interior do forno, fazendo que o resfriamento seja efetuado em um ciclo mais longo que o aquecimento (CUNHA, 1985).

Figura 01 – Curva de tratamento térmico aço SAE 5160



2.3 METALOGRAFIA

A análise metalográfica tem significativa importância quando é necessário prever o comportamento do material em determinadas situações. Esta análise é realizada examinando a microestrutura do metal ou liga desejado de forma macro ou microscopicamente, denominando macrografia e micrografia respectivamente. (COLPAERT, 2008)

A macrografia consiste no exame de uma peça ou amostra metálica, com uma seção plana devidamente polida e atacada por um reagente apropriado. O exame é realizado a olho nu ou com o auxílio de uma lupa, com ampliação máxima de 10x. (COLPAERT, 2008)

Já na micrografia a análise é realizada com o auxílio de um microscópio, havendo assim a possibilidade de atingir aumentos máximos de cerca de 1400x, podendo ser aplicadas diversas técnicas de observação e assim obtendo informações mais precisas e detalhadas do material estudado. (COLPAERT, 2008)

De acordo com COLPAERT, para ambos os casos é necessária uma preparação rigorosa das amostras, seguindo diversas etapas para que não ocorram erros de visualização. As fases do processo são divididas em:

- Escolha e localização da seção a ser estudada.

- Obtenção de uma superfície plana e polida por meio de lixamento e polimento.
- Exame macro ou microscópico para observação de possíveis defeitos ou falhas no polimento da amostra.
- Ataque químico da superfície por reagente químico adequado.
- Exame macro ou microscópico da superfície já atacada.
- Registro do aspecto observado por meio de fotografia.

3. METODOLOGIA CIENTÍFICA

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Metalografia do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, sendo separado em etapas para ter um maior controle sobre cada processo realizado, aumentando a confiabilidade do estudo.

3.1 O aço utilizado

Para as amostras, foi utilizado o aço 5160 virgem, com certificado de qualidade fornecido pela empresa atestando sua composição química. Como padrão de fornecimento industrial, a barra com diâmetro de 25,4mm adquirida foi entregue já recozida, não sendo necessário realizar esta etapa do tratamento térmico, partindo diretamente para o restante dos processos.

Figura 02 – Certificado de qualidade aço SAE 5160

**CERTIFICADO DE QUALIDADE- CUT 03/22****Data: 27/09/2022****NF: 8970**

Cliente:	Pedido: Whatsapp
Qualidade: SAE 5160	Ordem:
Diâmetro (mm): 25,40 Compr. (mm):1.000,00	
Composição Química (% peso)	Propriedades Gerais
C = 0,61	Dureza (HRC):
Mn = 0,82	LR (N/mm2):
Si = 0,21	LE (N/mm2):
P = 0,022	Along. (%):
S = 0,020	Material fornecido no estado recozido
Cr = 0,79	Microestrutura:
OBS: Certificado de origem - 70229	
DEPARTAMENTO QUALIDADE	Aprovado: Marcus H. Olivetti

Fonte: Maxime Ferrum (2022), adaptada pelo autor.

3.2 Procedimento de corte

As amostras possuem diâmetro padrão de 25,4mm (1"), cortadas com comprimento de 25mm a 30mm facilitando assim o manuseio durante as etapas de lixamento e polimento, não necessitando realizar o embutimento das mesmas. Para o corte foi utilizada uma policorte para metalografia da marca Pantec, modelo Pancut 50, sendo fixada a amostra em suas morsas e realizado o corte com abundância de água como fluido refrigerante para que não houvesse aquecimento da peça durante o processo. Foram cortadas e numeradas 10 amostras, mantendo velocidade e carga padrão para todos os casos.

Figura 03 – Policorte em funcionamento



Fonte: Autor

3.3 Tratamento térmico

O primeiro processo realizado foi a normalização, buscando aliviar tensões adquiridas no processo de fabricação da barra, ajustar o tamanho do grão e reduzir a dureza. Este passo do tratamento foi realizado a 870°C em forno mufla com temperatura controlada por meio de um controlador Novus modelo N480D, onde foi possível controlar tempo de aquecimento, tempo em que o forno manteve em sua temperatura final e histerese, obtendo assim baixas variações de temperatura durante o ensaio. Em seguida as amostras foram retiradas e resfriadas ao ar livre e temperatura ambiente, sem interferência no resfriamento

Figura 04 – Normalização



Fonte: Autor

Figura 05 – Resfriamento



Fonte: Autor

Após, foi realizada a têmpera em variadas temperaturas, também em forno mufla com temperatura e tempo de aquecimento controlados. Cada grupo de 03 amostras foram aquecidas a 780°C, 840°C e 900°C e em seguida resfriadas em óleo. Este processo aumenta a dureza do material, porém resulta também na redução da tenacidade e tensões internas, sendo assim necessário realizar o revenimento para alívio de tensões e correção de dureza para níveis desejados em cada projeto.

Figura 06 – Têmpera das amostras



Fonte: Autor

O revenimento foi realizado em dois grupos contendo uma amostra de cada temperatura de têmpera. Foram separados em duas temperaturas, 180°C e 210°C em

forno com temperatura controlada e resfriamento lento no interior do forno. Foram utilizadas apenas duas temperaturas de revenimento visando manter uma amostra de cada processo de têmpera com sua dureza e microestrutura sem alteração após o endurecimento, tendo assim uma amostra como base para comparação de cada processo.

Tabela 03 – Temperatura dos tratamentos térmicos

Tratamentos térmicos realizados		
Amostra	Temperatura têmpera (°C)	Temperatura revenimento (°C)
1	0	0
2	780	0
3	780	180
4	780	210
5	840	0
6	840	180
7	840	210
8	900	0
9	900	180
10	900	210

Fonte: Elaborada pelo autor

3.4 Lixamento

Para as etapas de lixamento, foi utilizado uma lixadeira metalográfica da marca Pantec, modelo Polipan 2 com velocidades ajustáveis de 300 e 600rpm. Associadas a lixadeira, foram utilizadas lixas d'água de diferentes granulometrias, buscando sempre obter uma superfície mais plana, sem imperfeições e riscos a cada etapa. Em todo o processo foi utilizada refrigeração constante, sendo água o fluido escolhido refrigerante.

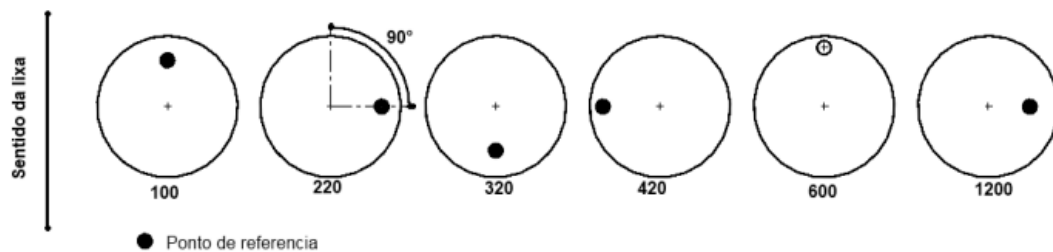
Tabela 04 – Ordem de lixas utilizadas

Lixas utilizadas		
Grão	Velocidade (rpm)	Refrigeração
100	600	Água
220	600	Água
320	600	Água
400	600	Água
600	600	Água
800	600	Água
1200	600	Água

Fonte: Elaborada pelo autor

Entre uma etapa de lixamento e outra foi rotacionada a amostra em 90°, conforme a figura 03 até que não houvessem mais os riscos da lixa anterior e assim sucessivamente até obter uma superfície quase polida.

Figura 03 – Método de lixamento em sentidos alternados



Fonte: COLPAERT (1974)

Com a troca de lixas, todo o equipamento foi higienizado para evitar contaminação de grãos de lixas anteriores, riscando assim a amostra em processo mais avançado. Também entre uma etapa e outra a amostra foi limpa utilizando algodão e água, eliminando assim impurezas que poderiam estar depositadas em sua superfície.

Figura 04 – Lixa metalográfica



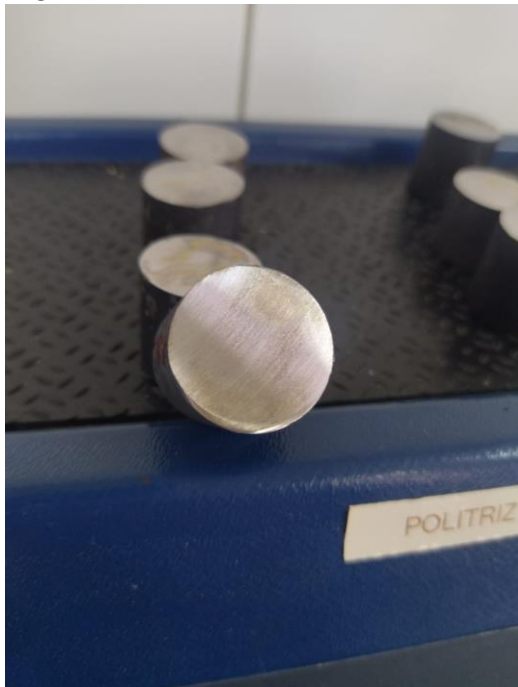
Fonte: Autor

Figura 05 – Processo de lixamento



Fonte: Autor

Figura 06 – Amostra em lixamento



Fonte: Autor

Figura 07 – Amostras em processo de lixamento



Fonte: Autor

3.5 Polimento

Para o polimento foi utilizado o mesmo equipamento do lixamento, havendo apenas a troca do prato para lixas, onde foi utilizado a roda de pano associada com pasta de diamante $1\mu\text{m}$ e refrigeração com água, obtendo assim uma superfície polida e pronta para o ataque químico. Entre uma etapa e outra do polimento a amostra foi limpa com algodão e água, evitando riscos e mantendo seca e sem presença de oxidação em sua superfície.

Figura 08 – Pasta de diamante para polimento



Fonte: Autor

Figura 09 – Amostras polidas



Fonte: Autor

3.6 Ataque químico

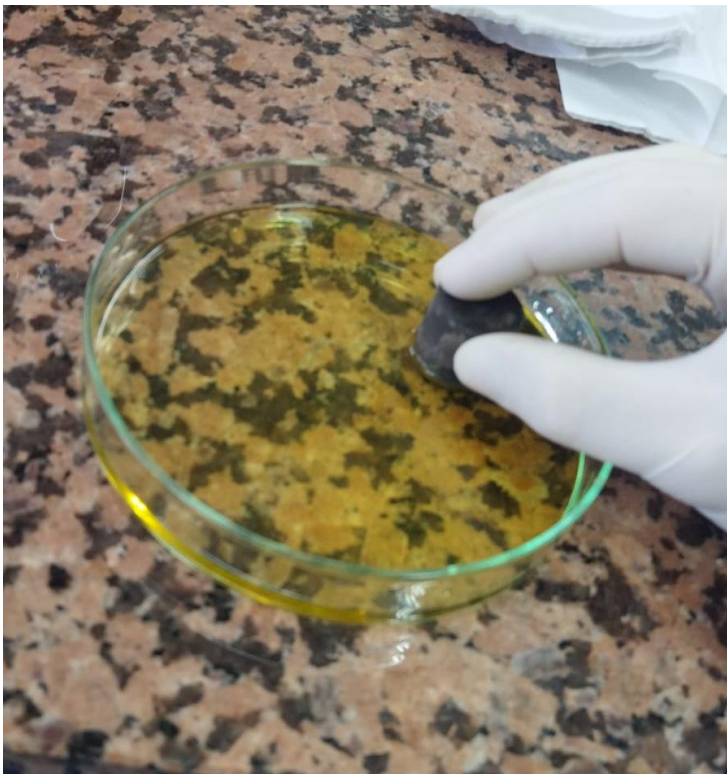
O ataque químico foi realizado por meio de imersão da face desejada das amostras em uma placa de Petri contendo uma solução de Ácido Nital 2%. A amostra permaneceu na solução durante 2 minutos e, após o término do tempo de ataque, foi utilizado álcool etílico 99,8% para neutralizar a solução, sendo limpa com algodão e seca com secador ao fim do processo. O processo se repetiu para todas as amostras, mesmo sem tratamento, buscando obter um maior número de fatores para comparação.

Figura 10 – Processo de ataque químico



Fonte: Autor

Figura 11 – Amostra submersa em ácido Nital 2%



Fonte: Autor

Figura 12 – Face de amostras após ataque químico

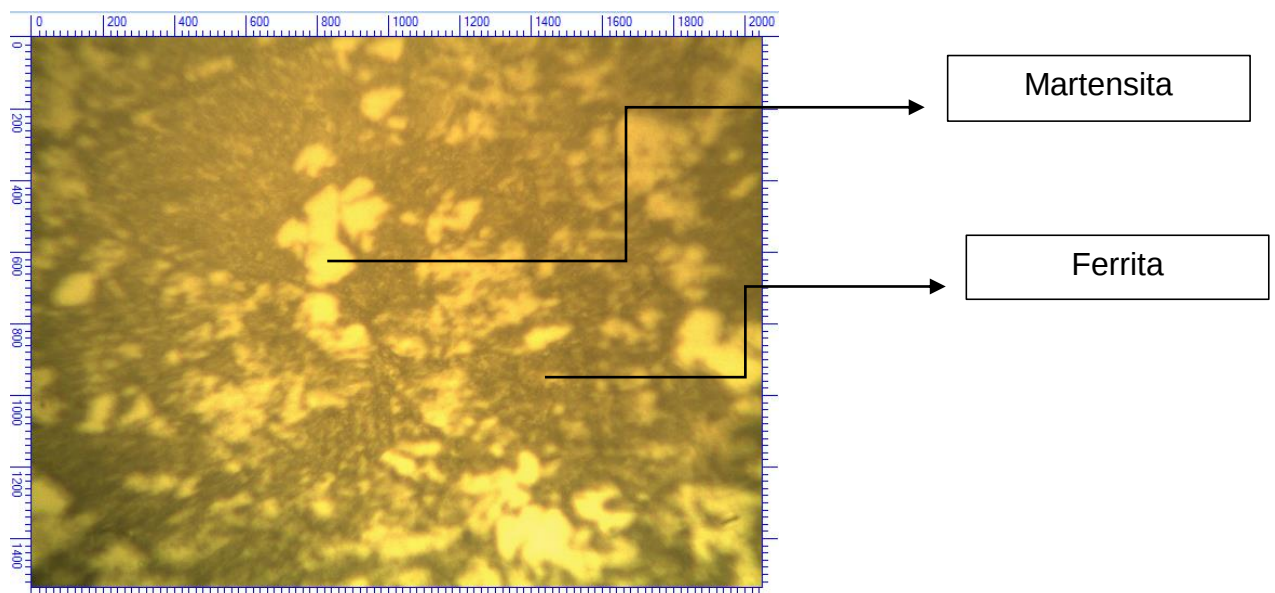


Fonte: Autor

3.7 Análise microscópica

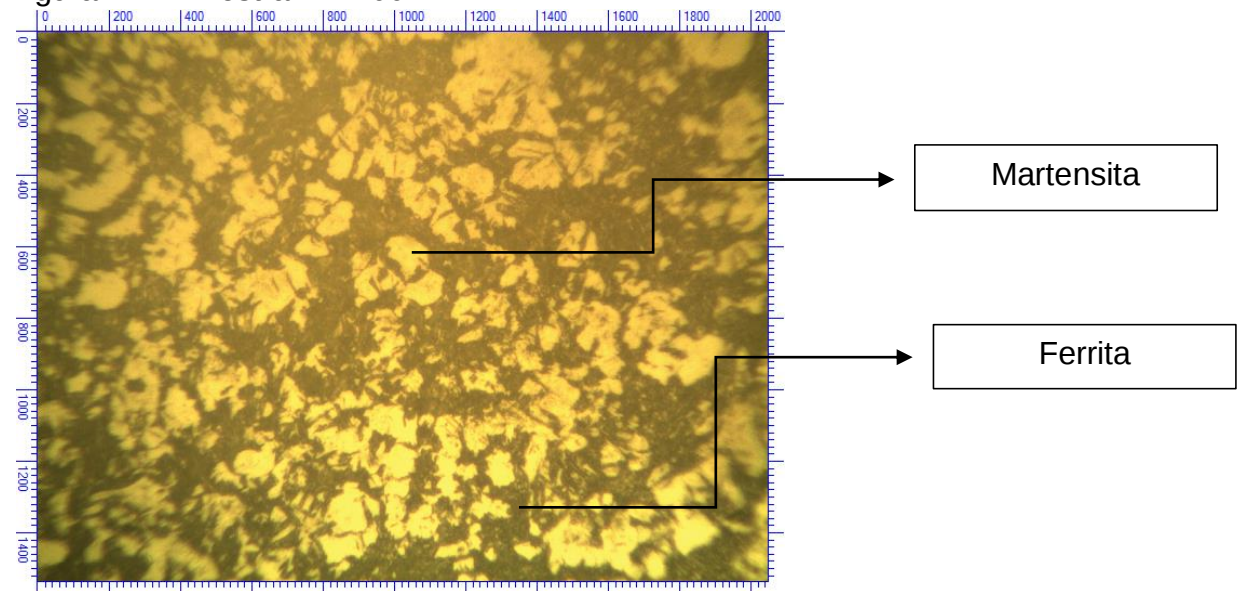
Já devidamente atacadas e limpas, as amostras foram levadas ao microscópio metalográfico invertido da marca Pantec, onde foram observadas com aumento de 100x sua superfície e auxílio de uma câmera ligada ao computador para obter uma maior facilidade em capturar imagens da microestrutura do aço.

Figura 13 - Amostra 1 – 100x



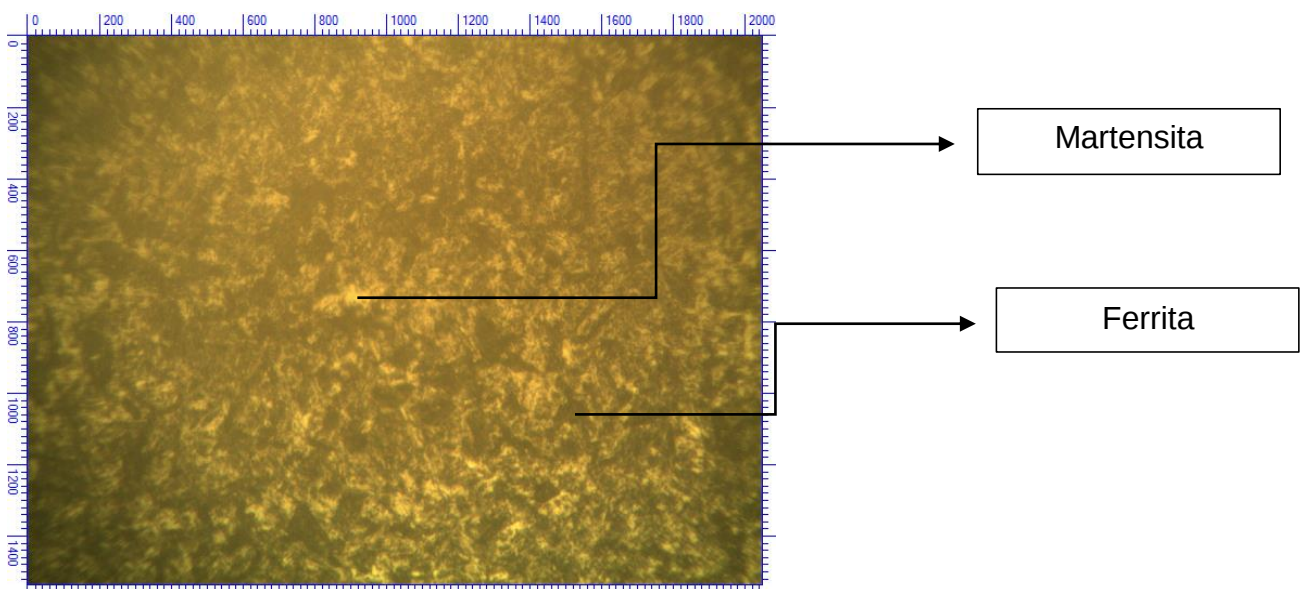
Fonte: Autor

Figura 14 - Amostra 2 – 100x



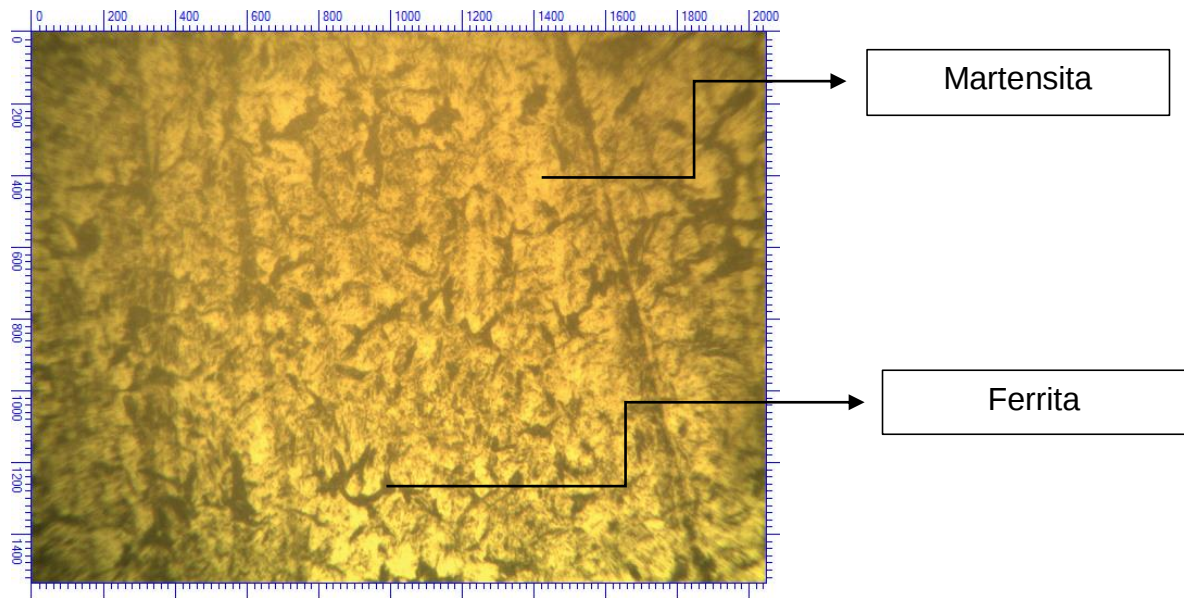
Fonte: Autor

Figura 15 - Amostra 3 – 100x



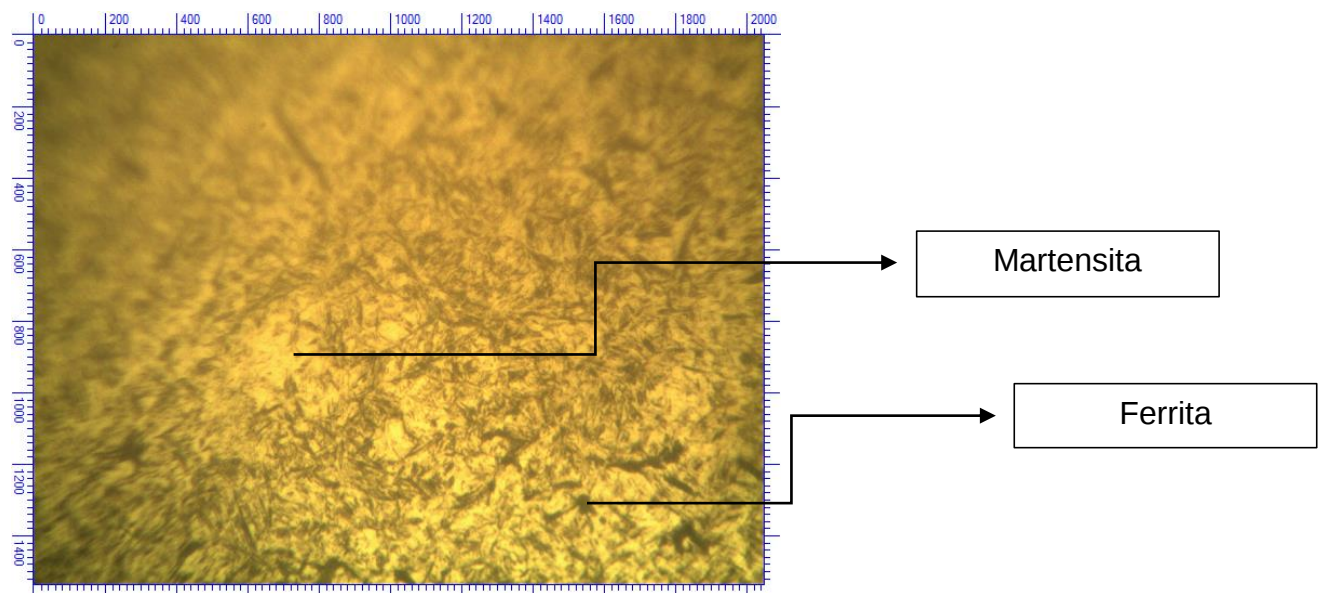
Fonte: Autor

Figura 16 - Amostra 4 – 100x



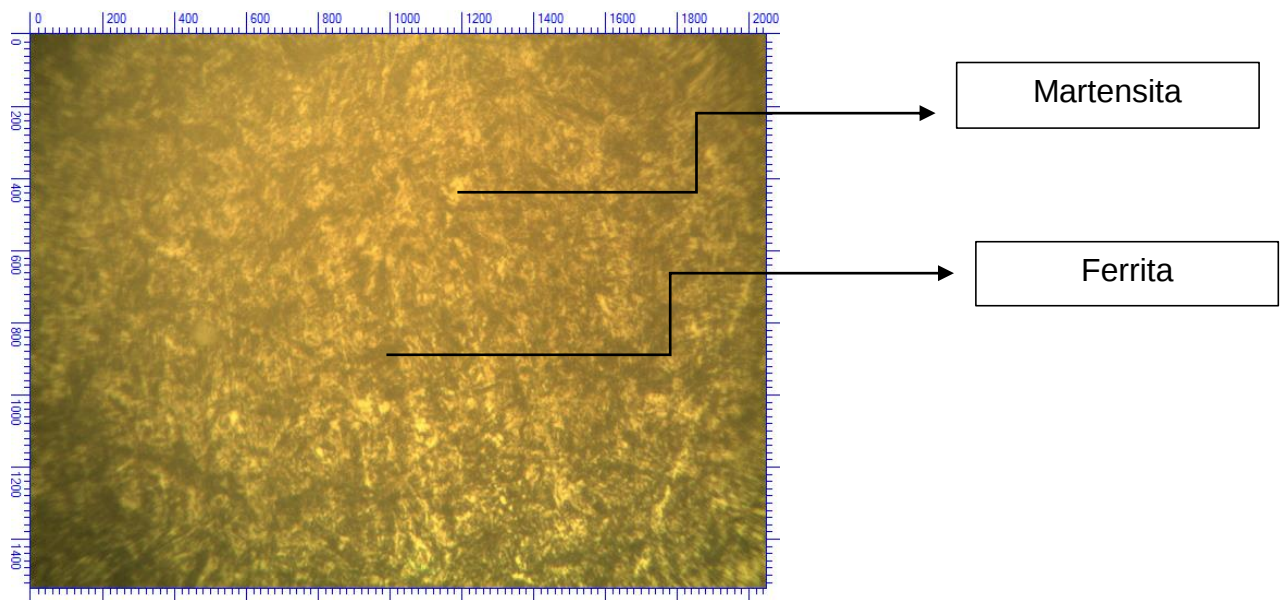
Fonte: Autor

Figura 17 - Amostra 5 – 100x



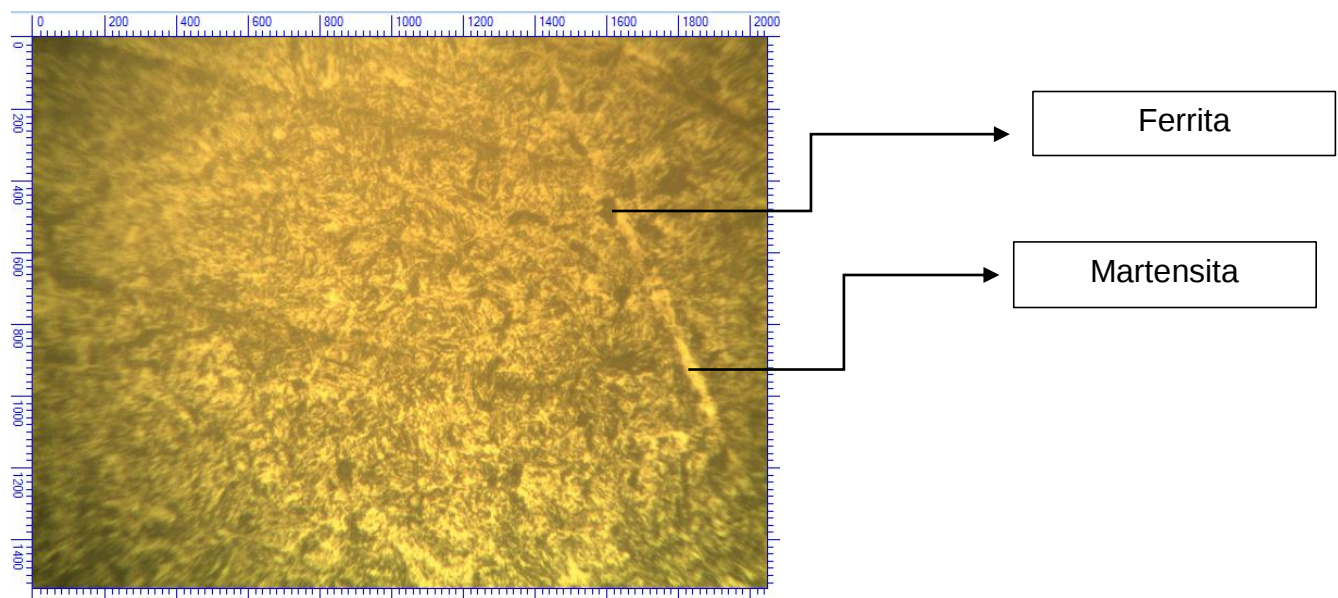
Fonte: Autor

Figura 18 - Amostra 6 – 100x



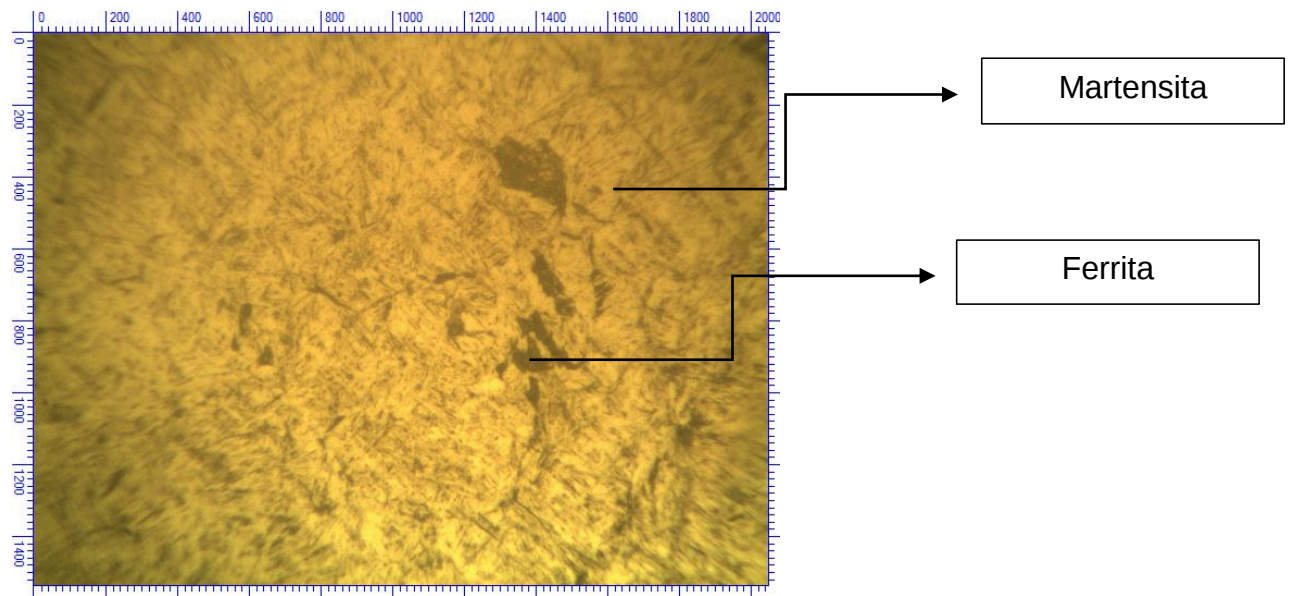
Fonte: Autor

Figura 19 - Amostra 7 – 100x



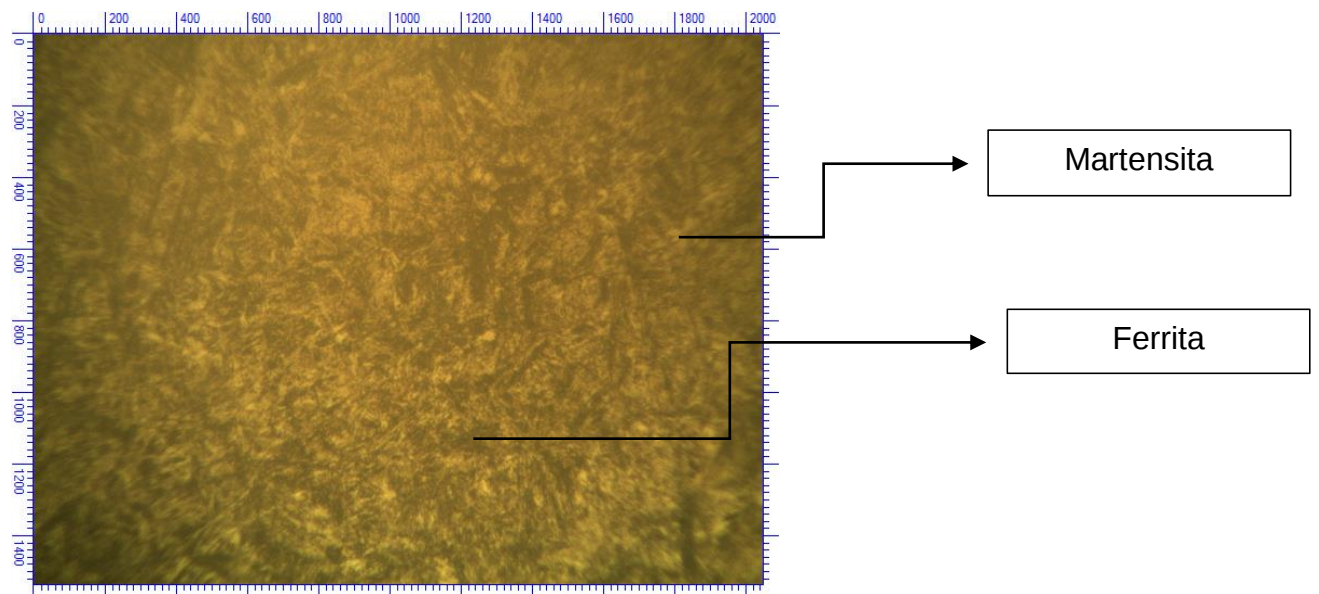
Fonte: Autor

Figura 20 - Amostra 8 – 100x



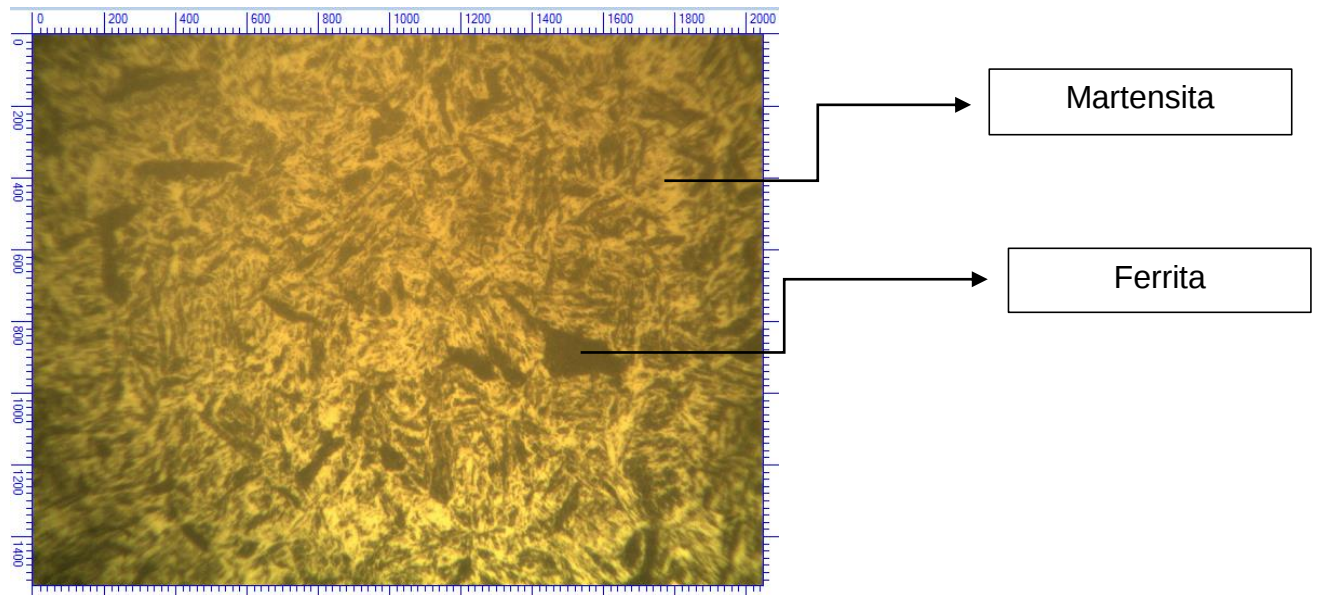
Fonte: Autor

Figura 21 - Amostra 9 – 100x



Fonte: Autor

Figura 22 - Amostra 10 – 100x



Fonte: Autor

3.8 Ensaios de dureza

Os ensaios de dureza foram realizados utilizando um durômetro da marca Mitutoyo, modelo HR-300, na escala de dureza Rockwell C. Para estas medições, foi utilizado um penetrador de diamante 120° , com carga tabelada do equipamento de 150kgf, se enquadrando nos níveis de dureza esperados nas amostras.

Para realização dos testes, foi aplicada uma pré carga manual no equipamento e para estabilização da força do ensaio e, em seguida, iniciada a medição automática pelo equipamento. Ao final do ensaio, os valores foram dados no visor do equipamento conforme figura 23.

Figura 23 – Durômetro ao final da medição



Fonte: Autor

Em cada amostra foram realizados 03 testes, dois em suas extremidades e um ao centro da face, podendo assim ter uma média dos valores medidos. Este método foi utilizado visando obter uma maior confiabilidade no estudo quanto aos ensaios de dureza, excluindo a possibilidade de a análise ser comprometida por um ponto não uniforme na face do material, podendo apresentar resultados de dureza alterados.

Tabela 05 – Resultados ensaios de dureza

Ensaio de dureza (HRC)			
Amostra	Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03
1	32.3	32.9	36.7
2	47.1	47.8	46.3
3	46.2	46.1	45.8
4	43.2	43.5	44.7
5	55.3	59.1	59.7
6	56.3	57.3	56.2
7	56.2	55.7	56.1
8	56.6	59.7	60.7
9	58	57.1	57.7
10	56.2	56	57.9

Fonte: Autor

Todos os dados obtidos foram reunidos em uma tabela, contendo as temperaturas de têmpera e revenimento juntamente com a dureza medida em cada amostra, facilitando a visualização geral dos resultados do experimento.

Tabela 06 – Resultados gerais dureza x temperaturas

Resultados dos ensaios			
Amostra	Temperatura têmpera (°C)	Temperatura revenimento (°C)	Dureza (HRc) média
1	0	0	34.0
2	780	0	47.1
3	780	180	46.0
4	780	210	43.8
5	840	0	58.0
6	840	180	56.6
7	840	210	56.0
8	900	0	59.0
9	900	180	57.6
10	900	210	56.7

Fonte: Autor

4 CONCLUSÃO

Tendo como ponto de partida as informações obtidas sobre têmpera, níveis de dureza do material utilizado no estudo e microestrutura desejada, foram tiradas conclusões de cada etapa do desenvolvimento do projeto e, ao fim, as informações foram reunidas e estudadas, obtendo o resultado final.

4.1 Ensaios de dureza

As durezas obtidas nas amostras se mostraram dentro dos níveis esperados para cada temperatura. Como os níveis desejados se mantêm entre 56 a 58HRC para melhor durabilidade do fio e facilidade na manutenção do utensílio, as amostras nº 05, 06, 07, 09 e 10 foram selecionadas, apresentando dureza entre as faixas necessárias. Todo o restante das amostras apresentou durezas fora dos padrões desejados, sendo assim descartadas do estudo.

4.2 Estrutura metalográfica

A estrutura metalográfica desejada, após a têmpera e revenimento do material, é ferrita + martensita, apresentando assim as propriedades desejadas para fabricação de lâminas de facas. Com o ataque químico e análises no microscópio foi possível identificar cada uma das microestruturas, disposição e formato do grão, sendo assim definidas as melhores amostras.

As amostras 6 e 9 apresentaram uma estrutura definida entre ferrita e martensita, necessárias para o projeto, em uma divisão equilibrada conforme as figuras 18 e 21. Esta estrutura trará benefícios para a lâmina, como tenacidade e maior resistência do fio a desgastes durante a utilização, tendo assim uma maior vida útil do equipamento.

4.3 Análise final de resultados

Tendo em vista que as amostras 6 e 9 apresentaram resultados satisfatórios em ambos os testes realizados, foi analisada a melhor temperatura tendo como base a disposição da microestrutura de cada amostra. Tendo como critério uma melhor distribuição e padronização da estrutura, foi concluído que as melhores temperaturas para tratamento térmico do aço SAE 5160 são, dentre as utilizadas no presente estudo, 840°C para têmpera e 180°C para revenimento, obtendo uma microestrutura balanceada, grãos com definição adequada, trazendo as propriedades mecânicas desejadas à lâmina de faca como dureza em níveis adequados para a utilização, resistência a desgastes, trazendo uma maior retenção do fio, maleabilidade e resistência mecânica ao uso como faca.

REFERÊNCIAS

AÇOSNOBRE **AÇO 5160: PROPRIEDADES, USOS E PREÇO**. Disponível em: <https://acosnobre.com.br/blog/aco-5160-caracteristicas-propriedades-mola-cutelaria-barra-chata-preco/>. Acesso em 23 de abril de 2022.

ADAMI, A.L. **FORJAMENTO E ESTAMPAGEM**. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/7361/Forjamento%20e%20estampagem.pdf?sequence=1>. Acesso em 23 de abril de 2022.

BARROS, F. M. **SUBSTITUIÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA POR AUSTÊMPERA EM MOLAS CILÍNDRICAS HELICOIDAIS**. Disponível em: <https://monografias.brasilecola.uol.com.br/engenharia/substituicao-do-tratamento-termico-de-tempera-por-austempera-em-molas-cilindricas-helicoidais.htm>. Acesso em 28 de abril de 2022.

BERARDO, E. C. **Tratamento térmico**. Disponível em: <https://berardofacascustom.blogspot.com/p/tabelas.html>. Acesso em 22 de abril de 2022.

BESTECK FACAS. **O QUE NINGUÉM TE CONTA SOBRE FACAS**. Disponível em: <https://besteck.com.br/blog/blog/o-que-ninguem-te-conta-sobre-facas/>. Acesso em 13 de outubro de 2022.

BORGES, J.N. **PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ANÁLISE MICROESTRUTURAL**. Disponível em: <http://pavanati.com.br/doc/Apostila%20Ana%20Maliska%20%20Preparacao%20Microestrutural.pdf>. Acesso em 09 de setembro de 2022.

CHIAVERINI, V. **AÇOS E FERROS FUNDIDOS**. São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.

COLAERT, H. **METALOGRAFIA DOS PRODUTOS CIDERÚRGICOS COMUNS**. São Paulo, Editora Blucher, 2008.

COZINHA TÉCNICA. **DUREZA ROCKWELL: CONHECENDO SUA FACA**. Disponível em: <https://www.cozinhatecnica.com/2017/10/dureza-rockwell-conhecendo-sua-faca/>. Acesso em 09 de outubro de 2022.

CUNHA, L. S. **MECÂNICA TÉCNICA INDUSTRIAL**. São Paulo: Editora Hemus, 1985.

DINI, G. H. **ESTUDO DE DIFERENTES CICLOS DE TRATAMENTO TÉRMICO DE ESFEROIDIZAÇÃO PARA AÇOS DA FAMÍLIA AISI 51XX**. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/151843/dini_gh_me_guara_int.pdf?sequence=7&isAllowed=y. Acesso em 02 de maio de 2022.

FILHO, H.B.E.L. **ANÁLISE DE ATAQUES QUÍMICOS PARA REVELAÇÃO DE MICROESTRUTURA DE SOLDAS DISSIMILARES DE AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS E FERRÍTICOS**. Disponível em: <https://www.repositoriobib.ufc.br/000020/0000208e.pdf>. Acesso em 9 de setembro de 2022.

GOMES, P.M.C.D. **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE AÇO BIFÁSICO E SUA ANÁLISE METALOGRÁFICA**. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/203050/000918556.pdf;jsessionid=71E7335CB8C02135D4F0520D048C6B94?sequence=1>. Acesso em 12 de outubro de 2022.

JUVÊNCIO, N. S.; JÚNIOR, M. Q. S. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DA DUREZA DE UMA FERRAMENTA DE CORTE FABRICADA A PARTIR DE UM FEIXE DE MOLA** Disponível em:

https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5833/1/NatanaelSJ_ART.pdf.

Acesso em 29 de abril de 2022.

MACIEL, C.I.S. **PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**. Londrina: Editora Educacional S.A, 2017.

MITUTOYO. **DURÔMETROS ROCKWELL SÉRIES HR 100/200/300/400**.

Disponível em: [https://www.mitutoyo.com.br/download/02folhetos//06%20Dureza/FP-201-963\(3\)%20-%20Durometros%20Rockwell.pdf](https://www.mitutoyo.com.br/download/02folhetos//06%20Dureza/FP-201-963(3)%20-%20Durometros%20Rockwell.pdf). Acesso em 10 de setembro de 2022.

NORTON ABRASIVOS. **QUAIS SÃO OS DIFERENCIAIS DOS ABRASIVOS PARA REPARAÇÃO AUTOMOTIVA DA NORTON?** Disponível em:

<https://blog.nortonabrasivos.com.br/abrasivos-norton>. Acesso em 29 de setembro de 2022.

RIJEZA METALURGIA. **DUREZA ROCKWELL: CONHEÇA SEU CONCEITO**.

Disponível em: <https://rijeza.com.br/blog/conheca-mais-sobre-dureza-rockwell/>.

Acesso em 10 de setembro de 2022.

ROHDE, R.A. **METALOGRAFIA PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS: UMA ABORDAGEM PRÁTICA**. Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4313798/mod_resource/content/1/APOSTILA METALOGRAFIA.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4313798/mod_resource/content/1/APOSTILA_METALOGRAFIA.pdf). Acesso em 9 de setembro de 2022.

SANTOS, H.P. **CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DOS AÇOS 1020, 1045, 5160, 8620 APÓS OS DETERMINADOS TIPOS DE TRATAMENTOS TÉRMICOS DE TÊMPERA, REVENIMENTO, NORMALIZAÇÃO E RECOZIMENTO**. Disponível em:

https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/60638/3/2021_tcc_hpsantos.pdf. Acesso em 14 de março de 2022.

SILVA, A.P.; FELISBERTO, S.F.; JUNIOR, A.R.; ETISEI, C.C.A.; MONTORO, S.R. **DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DA DUREZA E DA MICROESTRUTURA DO AÇO AISI 5160 NA CONDIÇÃO PADRAO E ESFEROIDIZADO**. Disponível em:

http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2018/anais/arquivos/RE_0139_0774_01.pdf.

Acesso em 12 de março de 2022.

TEIXEIRA, G.B; CANALE, L. C. F.; MENDONÇA, R.R. **INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE AUSTÊMPERA E TÊMPERA COM REVENIMENTO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURA DOS AÇOS SAE 5160 E SAE 9254**. Disponível em:

<http://mto.ifsp.edu.br/images/CPI/Anais/IC/2175.pdf>. Acesso em 22 de abril de 2022.

WEISS, A. **Processos de fabricação mecânica**. Curitiba: Livro Técnico, 2012.