



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS  
CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA**

**CARLOS MAGNO GOMES DE BRITO**

**INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS DE RECOZIMENTO PLENO E  
NORMALIZAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
AÇOS COM BAIXO E ALTO TEOR DE CARBONO**

**FORTALEZA**

**2017**

**CARLOS MAGNO GOMES DE BRITO**

**INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS DE RECOZIMENTO PLENO E  
NORMALIZAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
AÇOS COM BAIXO E ALTO TEOR DE CARBONO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Metalúrgica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo José Gomes da Silva.

**FORTALEZA  
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B875i Brito, Carlos Magno Gomes de.

Influência dos tratamentos térmicos de recocimento pleno e normalização na microestrutura e propriedades mecânicas de aços com baixo e alto teor de carbono / Carlos Magno Gomes de Brito. – 2017.  
39 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo José Gomes da Silva.

1. Aço-Carbono. 2. Recocimento. 3. Normalização. I. Título.

CDD 720

---

**CARLOS MAGNO GOMES DE BRITO**

**INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS DE RECOZIMENTO PLENO E  
NORMALIZAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
AÇOS COM BAIXO E ALTO TEOR DE CARBONO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Metalúrgica.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Marcelo José Gomes da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jorge Luiz Cardoso  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Cândido Jorge de Sousa Lobo  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Guirlan e Erinalria.

A minha filha, Maria Eduarda.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por tudo.

A minha filha, Maria Eduarda, minha maior inspiração.

Aos meus pais, Guirlan e Erinalria, por todo o suporte e apoio incondicional.

Ao meu irmão Guirlan Jr, por todo o incentivo.

A toda minha família que esteve sempre comigo, me apoiando e incentivando, em especial as minhas avós, Alba e Maria do Céu.

Ao professor e orientador Dr. Marcelo José Gomes da Silva, a quem tenho grande admiração e respeito, por sua disponibilidade, por seu acompanhamento e orientação durante a execução deste trabalho, e pelos conhecimentos repassados ao longo da graduação.

Aos meus amigos da vida, Andréa, Karoline, Wesley, Henrique, Vinicius, Victor, Cláudio, Lara e Karine pelo apoio que me deram.

Aos meus colegas de graduação, Renan, Montezuma, Rafael, Dyego, Mário, Dário, Carlos Viana, Patrick e em especial ao Dinamon, que sempre me ajudaram em todos os momentos.

Aos bolsistas e colegas do LACAM e LEM, em especial os que conviveram comigo, João Vitor, Soraia, Thiago Cesar e ao professor Jorge por ser sempre solícito e me auxiliar nas minhas dúvidas.

“O único lugar que o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”  
Albert Einstein.

## **RESUMO**

O aço carbono é uma liga de Ferro-Carbono contendo geralmente de 0,008% até 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, podendo ser dividido em aço com baixo, médio e alto teor de carbono. Neste seguinte trabalho, foi analisado o comportamento de um aço baixo carbono quando submetido a tratamentos térmicos de recozimento pleno e normalização a 920°C e um aço alto carbono submetidos aos mesmos tratamentos a 770°C. No recozimento pleno do aço alto carbono tomou-se os devidos cuidados para que a linha ACM não fosse ultrapassada para que não se formasse invólucros de carbonetos nos contornos de grão, o que fragilizaria o material. Comparando-se os aços com mesmo teor de carbono submetidos a tratamentos térmicos diferentes, nota-se um aumento de grão para os aços recozidos em relação aos aços normalizados. Foi analisada ainda ensaios de dureza, verificando-se que ocorre uma diminuição de dureza para o recozimento pleno e um aumento de dureza na normalização.

**Palavras-chave:** Aço Carbono, Recozimento, Normalização.

## **ABSTRACT**

Carbon steel is an iron-carbon alloy containing generally 0.008% to 2.11% carbon, in addition to certain residual elements, and can be divided into steel with low, medium and high carbon content. In the following work, the behavior of a low carbon steel was analyzed when subjected to full annealing and normalization treatments at 920°C and a high carbon steel subjected to the same treatments at 770°C. In the full annealing of the high carbon steel, care was taken to ensure that the acm line was not exceeded so that no carbide envelopes were formed in the grain boundaries, which would weaken the material. Comparing the steels with the same carbon content submitted to different heat treatments, a grain increase is noticed for the annealed steels in relation to the normalized steels. Hardness tests were also carried out to verify that a hardness decrease occurs for full annealing and an increase in hardness at the normalization.

**Keywords:** Carbon Steel. Full Annealing. Normalization.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Diagrama de Equilíbrio Ferro-Carbono.....	17
<b>Figura 2</b> - Transformações possíveis envolvendo a decomposição da austenita.....	18
<b>Figura 3</b> - Sumário gráfico dos tratamentos térmicos para aços no diagrama de equilíbrio ...	21
<b>Figura 4</b> - Diagrama de transformação isotérmica (TTT) para um aço hipoeutetóide .....	21
<b>Figura 5</b> - Diagrama de transformação isotérmica (TTT) para um aço hipereutetóide .....	21
<b>Figura 6</b> - Organograma sobre materiais e métodos.....	26
<b>Figura 7</b> - Micrografia Ótica com aumento de 500x do aço baixo carbono como recebido...30	30
<b>Figura 8</b> - Micrografia Ótica com aumento de 500x do aço alto carbono como recebido. ....31	31
<b>Figura 9</b> - Micrografia Ótica com aumento de 500x do aço baixo carbono normalizado.....32	32
<b>Figura 10</b> - Micrografia Ótica com aumento de 500x para aço alto carbono normalizado....34	34
<b>Figura 11</b> - Exemplo de micrografia Ótica de um aço 1095 normalizado, com aumento de 1000x .....	34
<b>Figura 12</b> - Micrografia Ótica com aumento de 500x do aço baixo carbono recozido.....34	34
<b>Figura 13</b> - Micrografia Ótica com aumento de 500x do aço alto carbono recozido.....35	35

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> - Composição química do aço A-516 grau 70 como recebido.....	28
<b>Tabela 2</b> - Composição química do aço SAE 1080 como recebido.....	28
<b>Tabela 3</b> - Resultado de dureza vickers dos aços.....	35

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Aços-Carbono.....</b>	<b>16</b>
2.1.1   Aço A-516 Grau 70 .....	19
2.1.2   Aço SAE 1080.....	19
<b>2.2 Tratamentos Térmicos.....</b>	<b>20</b>
2.2.1   Normalização .....	23
2.2.2   Recozimento Pleno .....	23
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Materiais .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Composição Química .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Tratamentos Térmicos .....</b>	<b>24</b>
3.3.1   Recozimento Pleno .....	24
3.3.2   Normalização .....	25
<b>3.4 Preparação dos Corpos de Prova .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5 Preparação metalográfica .....</b>	Erro! Indicador não definido.
<b>3.6 Microscopia Ótica .....</b>	Erro! Indicador não definido.
<b>3.7 Ensaio de Dureza.....</b>	Erro! Indicador não definido.
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1 Composição Química .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2 Caracterizações Microestrutural.....</b>	<b>28</b>
4.2.1   Caracterização dos Aços Carbono Como Recebido .....	29
4.2.2   Caracterização dos Aços Carbono após Tratamento Térmico de Normalização ..	30
4.2.3   Caracterização dos Aços Carbono após tratamento Térmico de Recozimento Pleno	33
<b>4.3 Dureza .....</b>	<b>35</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O aço é o material mais versátil das ligas metálicas. Produzido em grande variedade de tipos e formas, para atender eficazmente a uma ou mais aplicações. Esta variedade decorre da necessidade de ininterruptas adequações dos produtos às exigências do mercado que pede aplicações específicas, sejam elas nas mudanças das propriedades mecânicas, na composição química, ou até mesmo na forma final do material. (Centro Brasileiro de Construção em Aço, 2014).

Os aços são ligas de ferro com percentual de carbono que varia entre 0,008% a 2,11 % podendo conter outros elementos de liga tais como: Mn, Si, Cr, Mo, Ni, Al, Co, Cu, V, W, Ti, enfim, qualquer outro elemento que dê o efeito desejado a liga (Chiaverini, 1986).

Embora uma alta porcentagem de todos os metais fabricados possa ser utilizada após conformação, laminação ou fundição; por razões econômicos muitos metais (aços em particular) não desenvolvem suas propriedades físicas e mecânicas máximas, senão após tratamento térmico.

Os aços são materiais extremamente modificáveis através de suas microestruturas. Uma das formas de provocar essas modificações é com tratamentos térmicos os quais podem conferir aos aços várias propriedades: modificação das quantidades das fases, modificação da capacidade de endurecimento, aumento ou diminuição da dureza do material e aumento ou diminuição da tenacidade.

Tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características determinadas. As propriedades dos aços dependem, em princípio, da sua estrutura. Os tratamentos térmicos modificam, em maior ou menor escala, a estrutura dos aços, resultando, em consequência na alteração mais ou menos pronunciada, de suas propriedades (Chiaverini, 2003).

A normalização é o tratamento térmico indicado para obter uma estrutura homogênea e refinada, e melhorar a resistência e a tenacidade destes aços (COLPAERT, 2008).

O recozimento é o tratamento térmico que consiste no aquecimento do aço acima da zona crítica, para alcançar objetivos como: remover tensões de trabalho a frio, diminuir dureza para posteriores processos de fabricação, alterar propriedades mecânicas e eliminar tratamentos térmicos aos quais os aços possam ter sido submetidos (Chiaverini, 1979).

No presente estudo, serão realizados tratamentos térmicos de recozimento pleno e normalização em aços de baixo e alto carbono e análise de suas respectivas microestruturas e também comparando os resultados obtidos, tendo como objetivo geral caracterizar aços com baixo e alto teor de carbono para os tratamentos de normalização e recozimento pleno, e objetivos específicos comparar a microestrutura dos aços de mesmo teor de carbono submetidos a tratamentos térmicos diferentes e comparar também as durezas dos aços antes e depois da realização dos tratamentos térmicos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico dedica-se a elaboração de uma revisão sobre o que são aço baixo e alto carbono e suas principais características e as consequências dos tratamentos térmicos de recozimento pleno e normalização.

### 2.1 Aços-Carbono

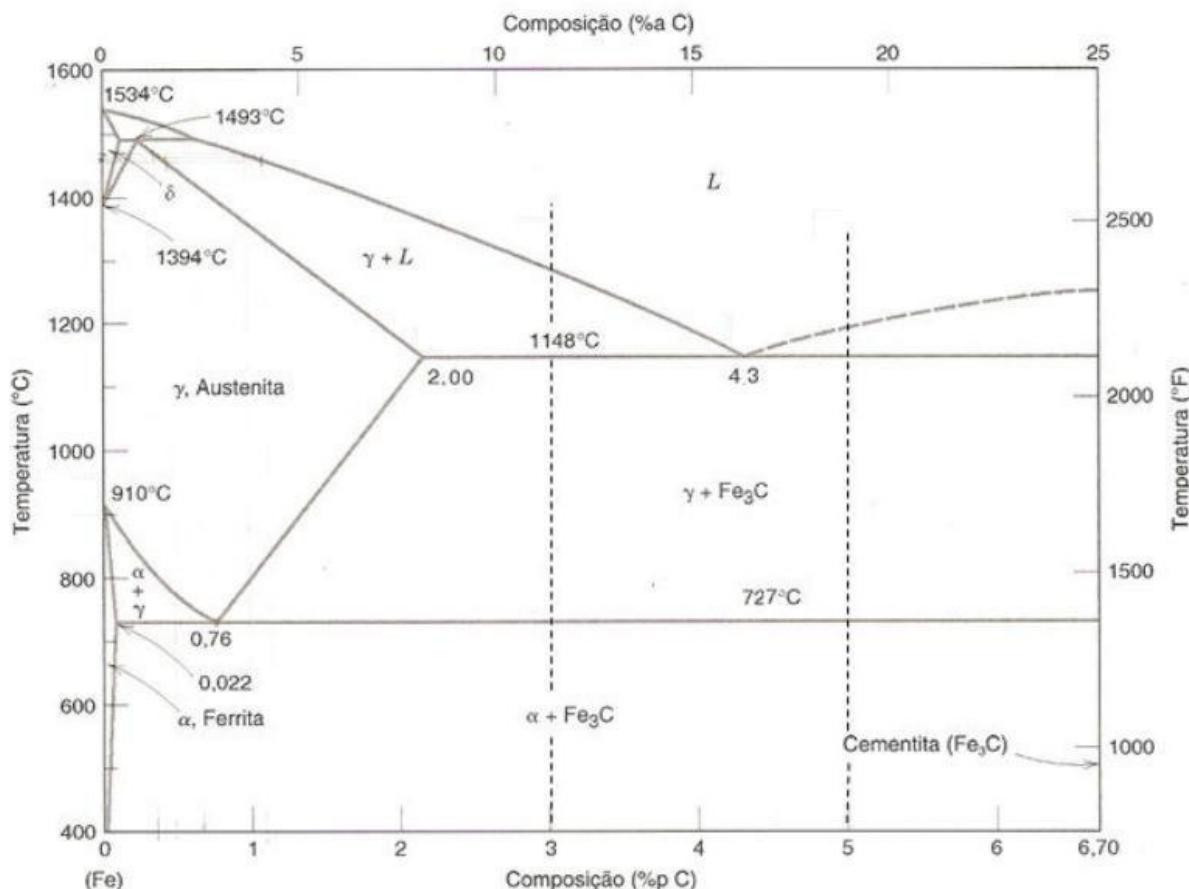
O aço-carbono é um aço sem a adição proposital de outros elementos, contendo apenas o carbono (0,0 a 2,0%) e os quatro elementos residuais sempre encontrados nos aços e que permanecem em sua composição durante o processo de fabricação (SOUZA, 2006). Esses elementos residuais são o manganês, silício, fósforo e o enxofre e em geral seus teores não são maiores que 1,65% para o Mn, 0,30% para o Si, 0,040% para o P e 0,050% para o S.

Os aços-carbono são usados quando não existem requisitos de resistência mecânica e resistência à corrosão muito severa, ou quando a temperatura de utilização do aço não seja muito elevada. As vantagens de se utilizar os aços-carbono são os custos relativamente baixos e pouca exigência de tratamentos elaborados para a sua produção (SOUZA, 2006).

As propriedades mecânicas dos aços-carbono são afetadas, em princípio, por dois fatores: composição química e microestrutura. No que se refere à composição química, nos aços em que se processou a transformação total da austenita, o elemento predominante é o carbono que à medida que aumenta, melhora as propriedades relativas à resistência mecânica, isto é, o limite de escoamento, o limite da resistência à tração e a dureza e piora as propriedades relativas à ductilidade e à tenacidade, ou seja, o alongamento, a estrição e a resistência ao choque (CHIAVERINI, 2002).

O diagrama de fases, apresentado na Figura 1, mostra o alicerce no qual todo o tratamento do aço é baseado. Este diagrama define a composição das regiões de temperatura em que várias fases do aço são estáveis, assim como os limites de equilíbrio entre os campos de fase. (Krauss, 1994)

Figura 1 - Diagrama de Equilíbrio Ferro-Carbono



Fonte: Kraus (1994)

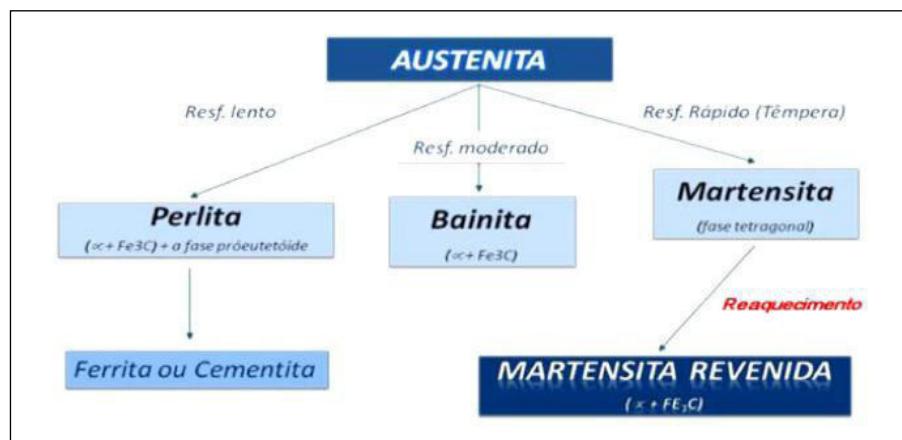
Os aços podem ser classificados conforme uma distinção entre os aços carbono comum e os aços ligados. O aço-carbono é uma liga de Ferro-Carbono contendo geralmente de 0,008% até 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais resultantes dos processos de fabricação. Já o Aço-Liga é o aço carbono que contém outros elementos de liga, ou apresenta os elementos residuais em teores acima dos que são considerados normais. Os aços-carbono são divididos em 3 (três) categorias:

1. Aços com baixo teor de carbono: com  $(C) < 0,3\%$ , que possuem grande ductilidade, ou seja, são ótimos para o trabalho mecânico e soldagem como a construção de pontes, edifícios, navios, caldeiras e peças de grandes dimensões em geral. São aços que não admitem têmpera.

2. Aços de médio carbono: com  $0,3 < (C) < 0,7\%$ , são aços utilizados em engrenagens, bielas, cilindros, isto é, peças para motores. São aços que, temperados e revenidos, atingem boa tenacidade e resistência.
3. Aços com alto teor de carbono: com  $(C) > 0,7\%$ , são aços de elevada dureza e resistência após à tempra, e são comumente utilizados em molas, componentes agrícolas sujeitos ao desgaste, ferramentas, pinos, entre outros acessórios de máquinas (PANNONI, 2005).

Alterações nas composições fáscicas ocorrem em função dos elementos de liga presentes e da velocidade de resfriamento. A Figura 2 demonstra um esquema de resfriamento da austenita e os possíveis microconstituintes de acordo com a velocidade de resfriamento (Callister, 2008).

Figura 2 - Transformações possíveis envolvendo a decomposição da austenita.



Fonte: Callister (2008)

A perlita consiste em camadas alternadas ou lamelas compostas pelas fases ferrita ( $\alpha$ ) e cementita ( $Fe_3C$ ). Similar à perlita, a bainita possui microestrutura formada pelas fases ferrita ( $\alpha$ ) e cementita; desta forma, processos de difusão estão envolvidos. Dependendo da temperatura de transformação, a bainita forma-se como ripas ou placas, sendo composta por uma matriz de ferrita e por partículas alongadas de cementita.

Distinguem-se dois tipos de bainita, a superior, formada em temperaturas maiores, e a inferior, formada em temperaturas próximas à da transformação martensítica. A bainita superior é formada por uma série de tiras finas e estreitas (ripas) de ferrita que se encontram separadas por partículas alongadas de cementita precipitadas entre as ripas. Já a bainita

inferior, a fase ferrita existe na forma de finas placas e a precipitação da cementita é mais fina, ocorrendo principalmente no seu interior, na forma de bastões ou lâminas muito finas. (Callister, 2008)

As transformações perlítica e bainítica são concorrentes uma com a outra, pois, uma vez que uma dada fração de uma liga tenha se transformado em perlita ou bainita, a transformação no outro microconstituinte não será possível. (Callister, 2008).

A martensita é uma estrutura monofásica fora de equilíbrio, resultante de uma transformação adifusional da austenita. A transformação ocorre quando a taxa de resfriamento é rápida o suficiente para prevenir a difusão do carbono, pois qualquer difusão que por ventura ocorra, resultará na formação das fases ferrita e cementita. A austenita possui estrutura CFC que sofre uma transformação polimórfica para martensita tetragonal de corpo centrado (TCC), sendo formada por uma solução sólida supersaturada de carbono no ferro. (Callister, 2008).

### *2.1.1 Aço A-516 Grau 70*

A especificação da Norma ASME SA-516 Gr.70 ou A-516 Gr.70 (Grau 70), abrange chapas de aço carbono destinadas principalmente à fabricação de vasos de pressão fabricados por soldagem e sujeitos a moderadas e baixas temperaturas de serviço, nos quais a melhoria da ductilidade é importante (ASME II, Parte A SA-516, Edição 2013). Podem ser aplicados na fabricação de vasos de pressão com exigências de média e alta pressão (Catálogo de Chapas Grossas Usiminas, 2014).

### *2.1.2 Aço SAE 1080*

O aço SAE 1080, possui uma boa resistência mecânica e capacidade de tratamento térmico. Portanto, podem ser utilizados em aplicações que exigem grandes tensões de conformação e bons índices de dureza no produto final, principalmente quando são feitos tratamentos térmicos de têmpera que aumentam esses índices de dureza.

Existem várias aplicações para o aço em estudo, portanto, ele pode ser utilizado como parafusos, barras de direção, eixos de comandos de válvulas, árvores secundárias, engrenagens para caminhões, cruzetas, coroas, pinhões e virabrequins. Ele também é utilizado na fabricação de rolamentos cementados, em trilhos e rodas de trem e em vários outros tipos

de aplicações. Na maioria das aplicações são necessários trabalhos de conformação mecânica como usinagem, forjamento, laminação entre outros.

## 2.2 Tratamentos Térmicos

Tratamento térmico corresponde a um conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os materiais, sobretudo os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera do ambiente circunvizinho e, posteriormente, velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características para melhor atender a situações específicas (CHIAVERINI, 2008).

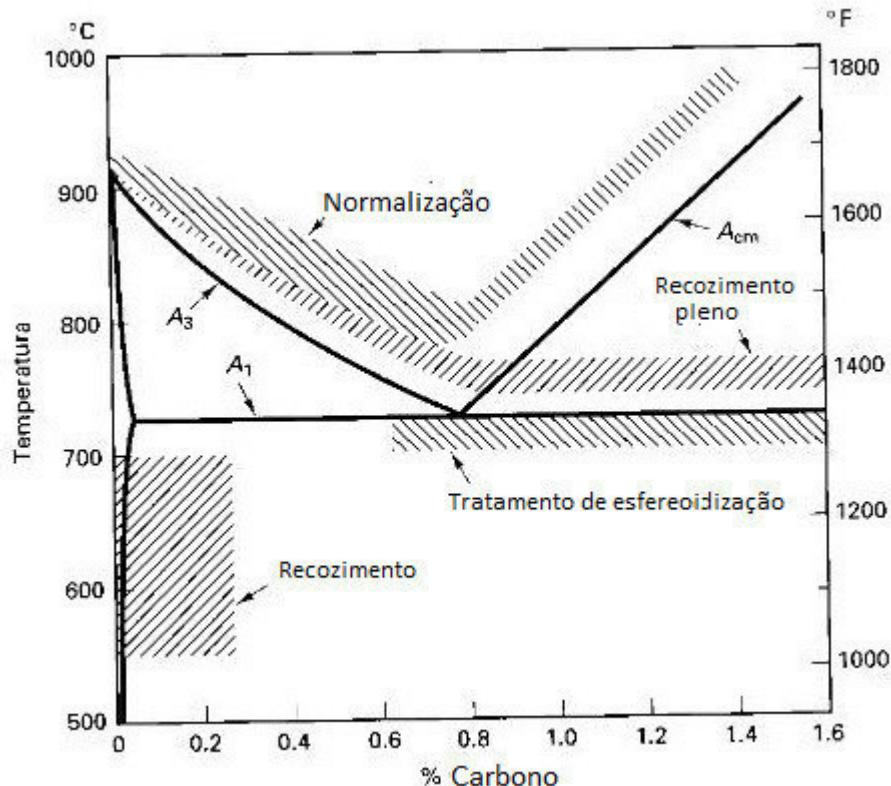
Dentre diversos objetivos específicos dos processos mencionados, podem ser citados como exemplos (CHIAVERINI, 2008):

- a) remover tensões residuais;
- b) aumento ou diminuição da dureza;
- c) aumento ou diminuição da resistência mecânica;
- d) melhora da ductilidade;
- e) melhorar a usinabilidade;
- f) melhora da resistência ao desgaste;
- g) melhora das propriedades de corte;
- h) melhora da resistência ao calor;
- i) modificação das propriedades elétricas e magnéticas;
- j) melhorar resistência à corrosão.

De maneira geral, as alterações observadas em um material em decorrência de um tratamento térmico, sejam elas nas propriedades mecânicas, elétricas, físicas ou tecnológicas, estão associadas a uma série de fenômenos estruturais que podem se dar no mesmo durante a operação, tais como recuperação, recristalização, transformações de fase, formação de

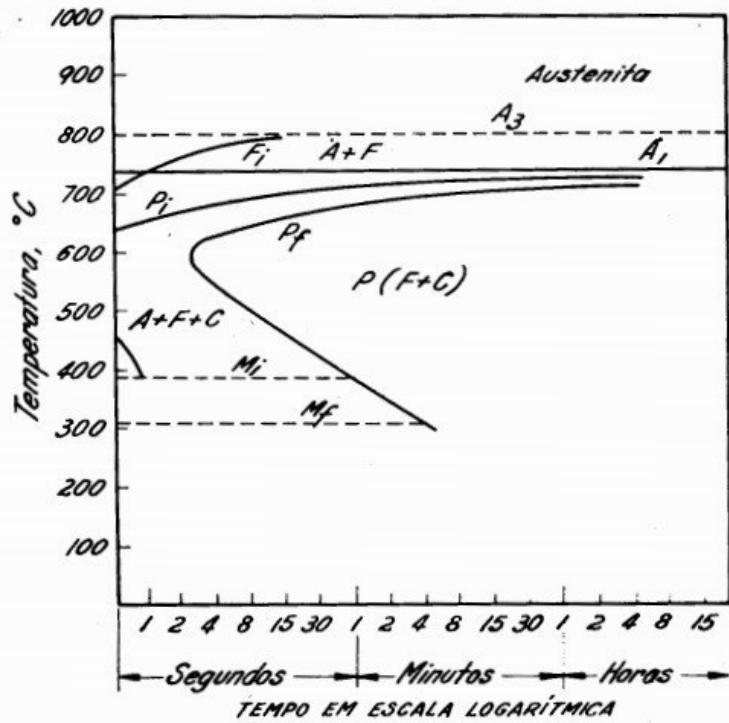
precipitados, controle ou refino de grão, entre outros. Em termos gerais, a flexibilidade de microestruturas que podem ser desenvolvidas nos tratamentos térmicos, em virtude de sua relação com as propriedades, permite a escolha de determinadas combinações que garantiriam uma melhor adequação a uma aplicação específica (VAN VLACK, 1994).

Figura 3 - Sumário gráfico dos tratamentos térmicos para aços no diagrama de equilíbrio



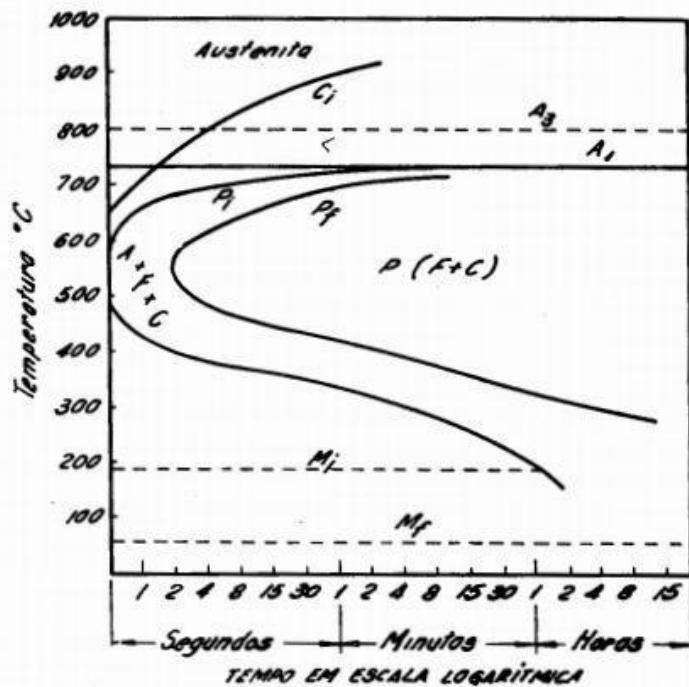
Fonte: Novikov (1994), adaptado

Figura 4 - Diagrama de transformação isotérmica (TTT) para um aço hipoeutetóide.



Fonte: Chiaverini (1979)

Figura 5 - Diagrama de transformação isotérmica (TTT) para um aço hipereutetóide.



Fonte: Chiaverini (1979)

### *2.2.1 Normalização*

Quando aplicado aos aços carbono este tratamento consiste em aquecer o material, se aço hipoeutetóide 50°C acima da linha A3, se aço eutetóide ou hipereutetóide 50°C acima da linha A1, permanecer nesta temperatura durante o tempo de encharque e, em seguida promover o resfriamento ao ar calmo, assim como mostra a Figura 3. Este procedimento produz uma estrutura composta de ferrita e perlita, perlita, ou perlita e cementita, como pode-se acompanhar nas Figuras 4 e 5 dos diagramas TTT para os aços hipoeutetóides e hipereutetóides respectivamente, contudo mais refinada (menor tamanho de grão e distância entre as lamelas de perlita) do que aquela obtida no recozimento pleno (CHIAVERINI, 2008; CALLISTER, 2006).

Este tratamento tem por objetivo aumento da usinabilidade e conformabilidade, eliminar efeitos de tratamentos termofísicos anteriores, tensões residuais e realizar uniformização da estrutura dos aços. Normalmente utilizado para refinar e uniformizar a estrutura de aços como tratamento de preparação para as operações de têmpera e revenimento, quando a transformação da austenita em martensita terá melhor resultado partindo-se de grãos mais uniformes da austenita (CALLISTER, 2006; CHIAVERINI, 2008).

### *2.2.2 Recozimento Pleno*

Consiste no aquecimento do aço acima da zona crítica durante o tempo necessário e suficiente para se ter a solução do carbono ou dos elementos de liga no ferro gama, seguido de resfriamento lento, dentro do forno, formando os constituintes normais de acordo com o diagrama de equilíbrio Fe-C (Figura 1).

Com isso, recozimento para aços hipoeutetóides, o ideal é aquecer a temperatura acima da linha superior de transformação A3 (+/- 50 °C acima), de modo a obter-se austenitização completa. Nos aços hipereutetóides, aquece-se acima da linha A1, não se devendo atingir ou ultrapassar a linha Acm, como mostra a Figura 3, porque, no resfriamento lento posterior, forma-se nos contornos de grão da austenita um invólucro contínuo e frágil de carbonetos, que iria conferir excessiva fragilidade aos aços.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Nos tópicos a seguir estão descritos os materiais, equipamentos e ensaios realizados para a obtenção dos objetivos propostos nesta pesquisa.

#### **3.1 Materiais**

Os materiais utilizados nas etapas deste trabalho foram barras dos Aços A-516 grau 70 e SAE 1080, cedidos pelo laboratório de Pesquisa e Tecnologia da Soldagem (LPTS).

Com o intuito de facilitar a compreensão, o aço A-516 grau 70 será chamado de aço baixo carbono e o aço SAE 1080, de aço alto carbono.

Um total de 6 amostras foram utilizadas, sendo 3 de cada aço analisado, com tamanhos de aproximadamente 15x15x10mm. Um par de amostras, formado de um amostra de cada aço, foi analisado como recebido. Outro par foi analisado após tratamento de normalização e o terceiro par foi analisado após tratamento de recozimento pleno.

#### **3.2 Composição Química**

A composição química dos aços A-516 grau 70 e SAE 1080 foi determinada pela técnica de queima, utilizando o Espectrômetro de Emissão Óptica SHIMADZU PDA 7000, após lixamento ate 100 mesh, para preparação da superfície da amostra.

#### **3.3 Tratamentos Térmicos**

Os tratamentos térmicos foram realizados em forno tipo mufla cedido pelo Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAM) da Universidade Federal do Ceará.

##### *3.3.1 Recozimento Pleno*

O tratamento de recozimento pleno para o aço baixo carbono foi realizado em temperaturas em torno de 920°C. E para o aço alto carbono foi utilizado temperaturas em torno de 770°C.

Todos os tratamentos térmicos de recozimento pleno analisado foram realizados com tempos de 60 minutos, seguido de resfriamento no forno.

### *3.3.2 Normalização*

O tratamento de normalização para o aço baixo carbono foi feito com temperatura em torno de 920°C, e para o aço alto carbono a temperatura foi em torno de 770°C.

Todos os tratamentos de normalização foram realizados com tempo de 60 minutos, seguidos de resfriamento ao ar.

## **3.4 Preparação dos Corpos de Prova**

Após a definição da temperatura de recozimento pleno e normalização das ligas trabalhadas, foram confeccionadas amostras para análise microscópica e de ensaios de dureza.

Para a análise micrográfica, as quatro amostras foram embutidas em baquelite, lixadas e polidas via politriz, para se obter uma superfície lisa e isenta de riscos, para garantir uma boa qualidade das imagens obtidas.

Para os ensaios de dureza, as amostras foram lixadas com intuito de se obter uma superfície plana, para garantir que as amostras permanecessem imóveis durante a realização dos ensaios.

## **3.5 Preparação metalográfica**

As amostras foram lixadas em uma lixadeira rotativa em um processo manual, utilizando lixas d'água de granulometrias 100, 220, 320, 400, 600, 1200 e 2500 mesh, e, com a mudança de cada lixa, as amostras eram rotacionadas em 90° para a retirada dos riscos da lixa anterior. O polimento foi manual de via úmida, utilizando uma politriz rotativa com duas soluções abrasivas de alumina de granulometria 1µm e 0,05µm. Por fim, foi feito um ataque em solução nital 2%.

### **3.6 Microscópia Ótica**

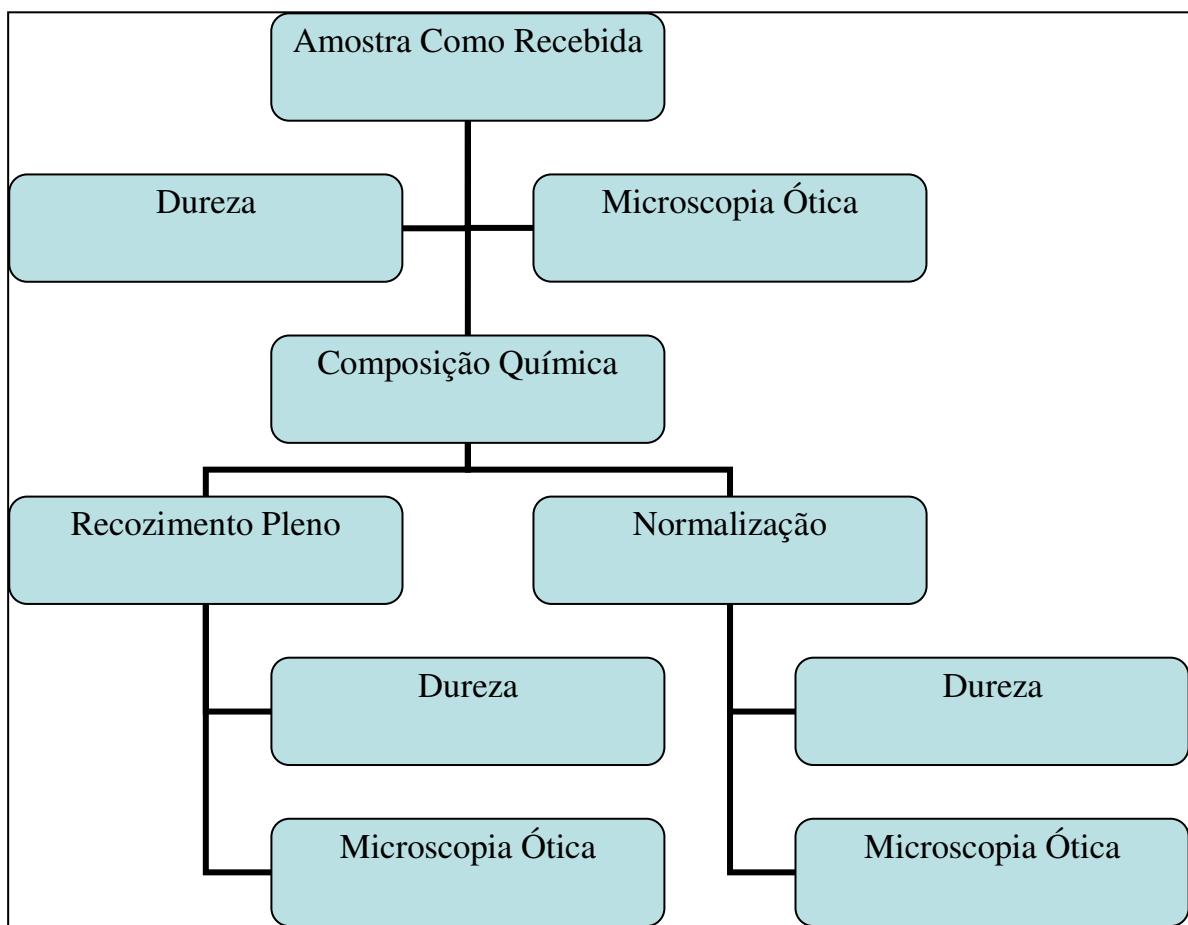
Após a preparação metalográfica de cada amostra, seguiu-se para análise micrográfica em um microscópio ótico da marca LEICA, modelo DMI3000 M, obtendo-se as imagens que serão apresentadas posteriormente.

### **3.7 Ensaio de Dureza**

Mediu-se a dureza das amostras por meio da dureza Vickers, seguindo a norma ISO 6507-1: 2008. Um total de 7 medições foram realizadas em cada amostra, das quais, as 2 primeiras medições foram descartadas.

Os testes foram conduzidos em um durômetro com carga de 187,5kgf (N) e tempo de aplicação entre 10s e 15s. Foram realizados no mínimo cinco testes de dureza para cada situação.

Figura 6 - Organograma sobre materiais e método.



Fonte: Elaborado pelo autor

O organograma, Figura 6, explica de uma forma bem simples e direta o que aconteceu com cada aço no seguinte estudo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos a partir da realização dos ensaios propostos.

### 4.1 Composição Química

Os resultados da análise da composição química para o aço A-516 grau 70 está disposto na Tabela 1 e para o aço SAE 1080, na Tabela 2.

Tabela 1 - Composição química do aço A-516 grau 70 como recebido.

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	Al	V	Ti	Fe
0,242	0,263	1,188	0,015	0,008	0,188	0,082	0,041	0,004	0,004	0,050	0,069	0,008	Bal.

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 2 - Composição química do aço SAE 1080 como recebido.

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	Al	V	Ti	Fe
0,840	0,547	1,091	0,015	0,016	0,021	0,209	0,036	0,009	0,002	0,002	0,008	0,003	Bal.

Fonte: Elaborado pelo autor

A composição química para ambos os aços encontram-se dentro das especificações exigidas em suas respectivas normas.

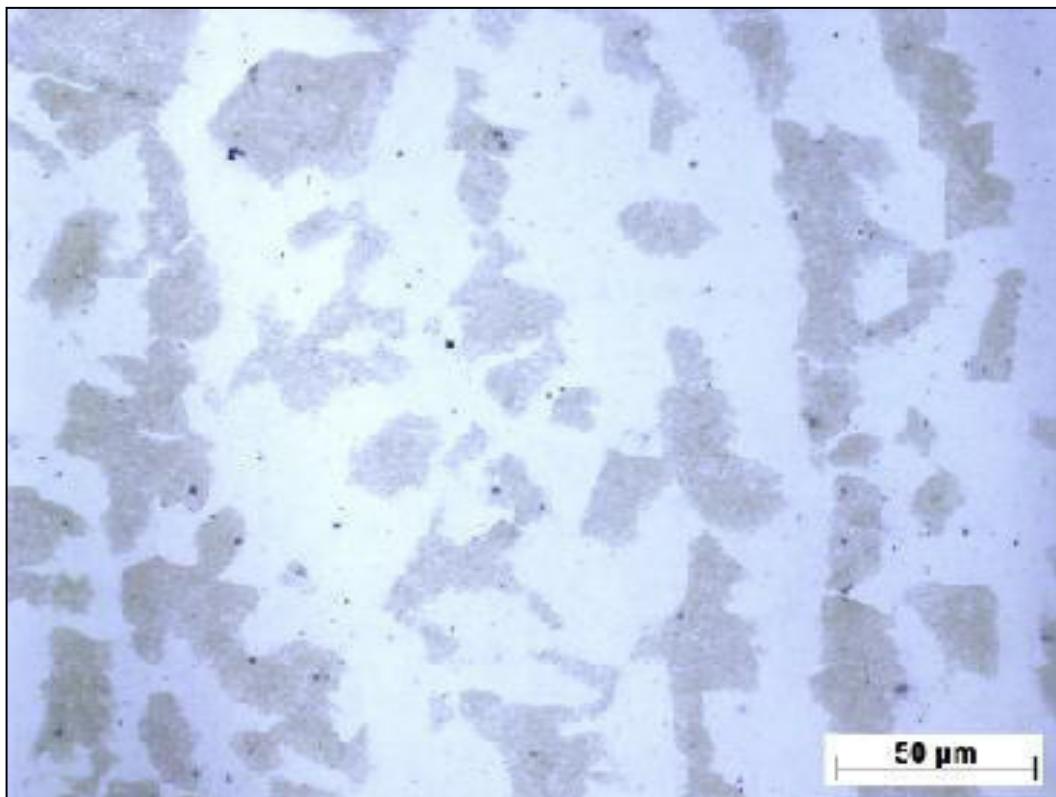
### 4.2 Caracterizações Microestrutural

Na seção serão apresentados e discutidos os resultados das caracterizações microestruturais realizados nas amostras após os tratamentos térmicos de normalização e recocimento pleno para os aços selecionados.

#### 4.2.1 Caracterização dos Aços Carbono Como Recebido

Como resultados da caracterização dos aços carbono como recebidos, foram obtidas as micrografias exibidas na Figura 7 para o aço baixo carbono, e na Figura 8 para o aço alto carbono.

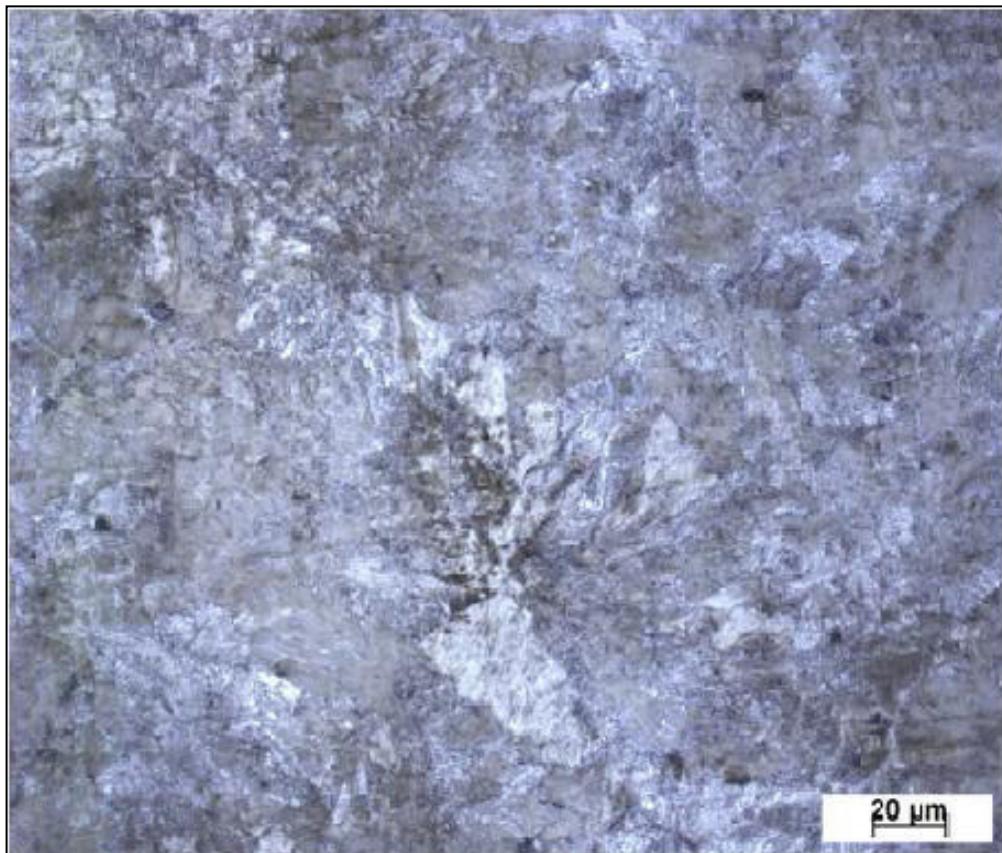
Figura 7 – Micrografia Ótica com aumento de 500x do aço baixo carbono como recebido.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 7, observa-se a presença de ferrita (parte clara) e perlita (parte escura). Estrutura semelhante com a encontrada na Figura 11, quando se realizou o recocimento pleno. O que demonstra que as amostras do aço baixo carbono passaram por um tratamento de recocimento pleno antes da entrega.

Figura 8 - Micrografia Ótica com aumento de 500x do aço alto carbono como recebido.



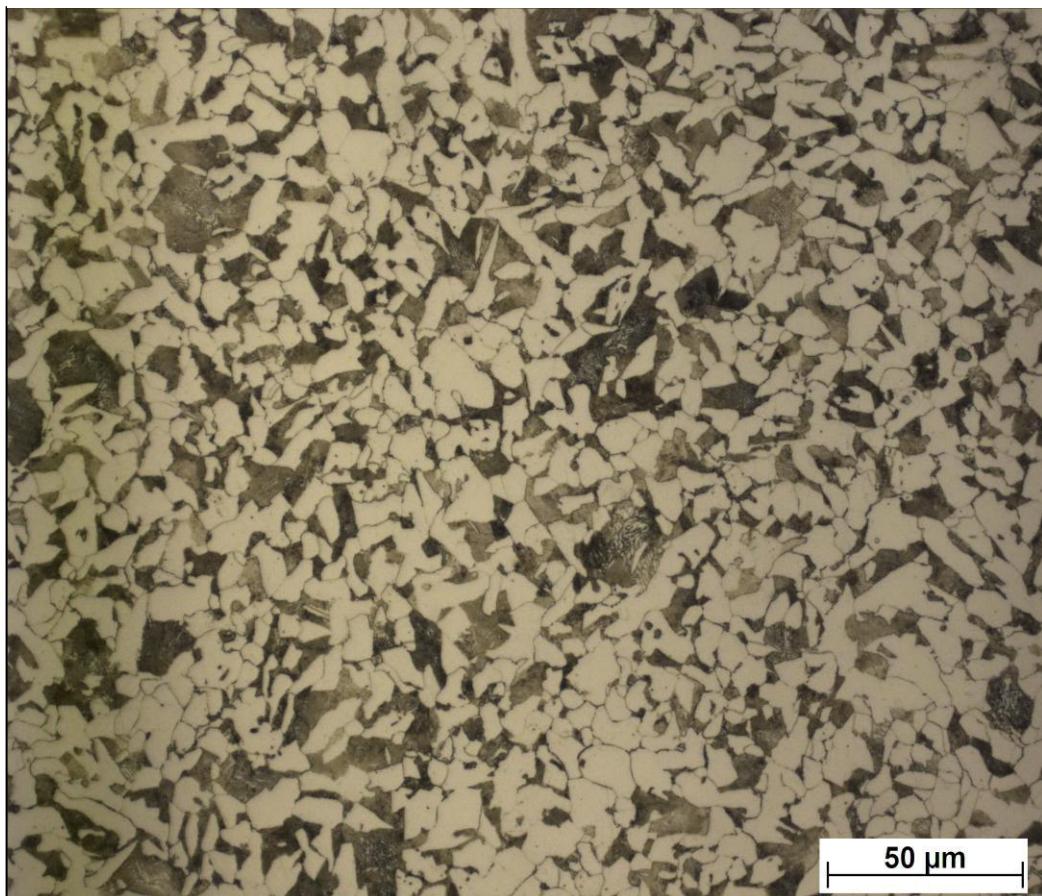
Fonte: Elaborado pelo autor

Na micrografia acima, observa-se a presença de perlita e cementita. Estrutura semelhante com a encontrada na Figura 12, quando se realizou normalização. Indicando que as amostras de alto carbono sofreram tratamento prévio.

#### 4.2.2 Caracterização dos Aços Carbono após Tratamento Térmico de Normalização

Como resultados da caracterização dos aços carbono após tratamento térmico de normalização, foram obtidas as micrografias exibidas na Figura 9 para o aço baixo carbono, e na Figura 10 para o aço alto carbono.

Figura 9 – Micrografia Ótica com aumento de 500x do aço baixo carbono normalizado

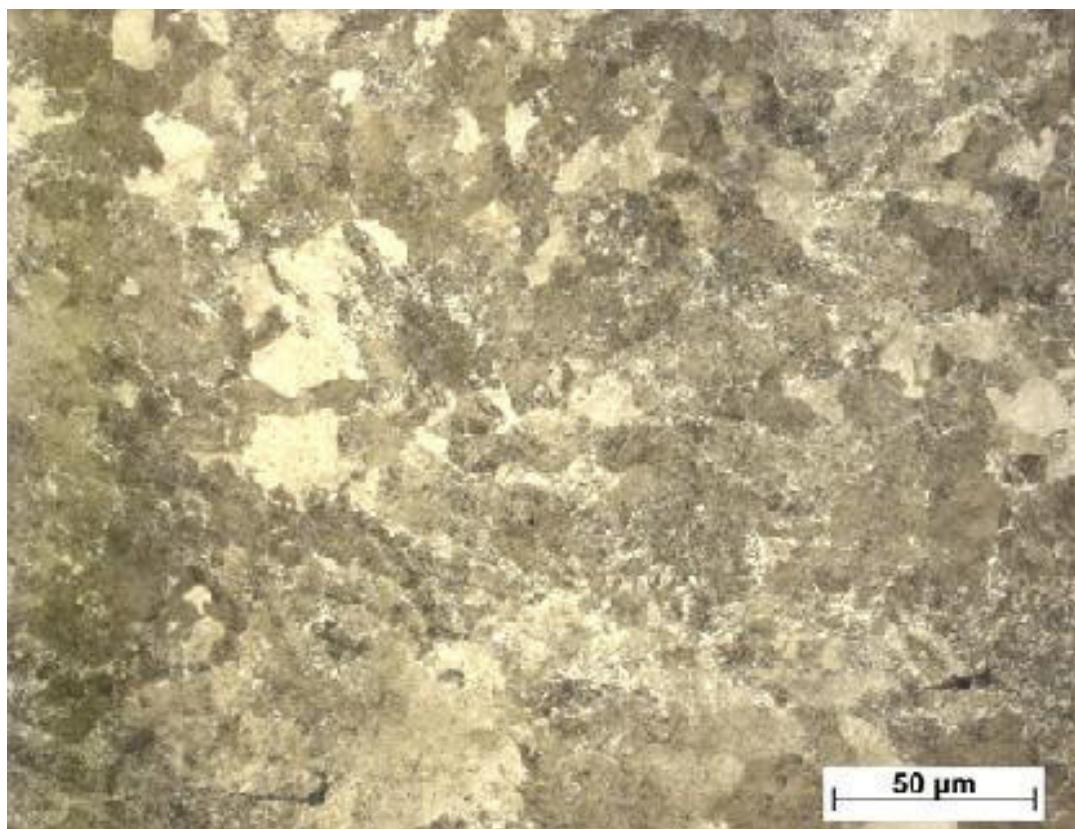


Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser evidenciada pela micrografia, há a formação de ferrita (fase clara) e perlita fina (microestrutura escura), estrutura em acordo com o encontrado na literatura para a normalização de aços baixo carbono.

Também é possível observar a presença de grãos mais refinados, quando comparados com as micrografias do aço baixo carbono como recebido. Esse refino dos grãos, que é um dos objetivos da normalização, ocorre em função do resfriamento rápido (quando comparado ao recozimento pleno), realizado em temperatura ambiente, resultando em uma microestrutura com granulação mais fina que a obtida no recozimento pleno.

Figura 10 – Micrografia Ótica com aumento de 500x para aço alto carbono normalizado

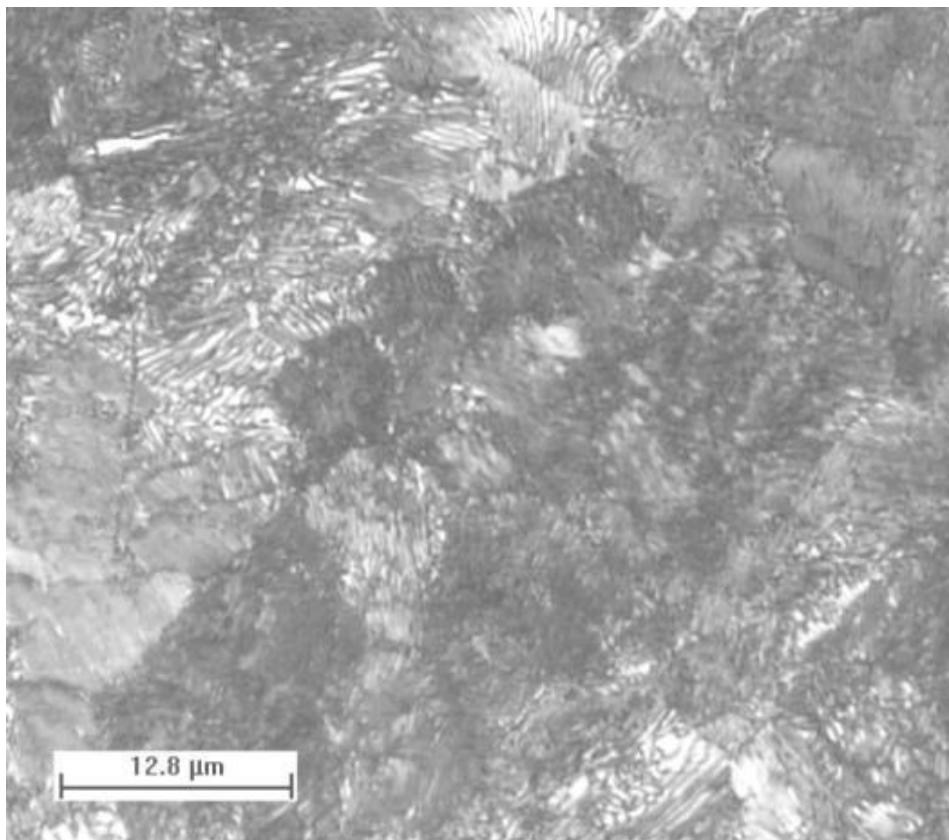


Fonte:

Elaborado pelo autor

Para o aço de alto carbono normalizado, como mostra a Figura 10, embora não seja nítido, existe a presença de cementita e perlita fina. Após a comparação com a literatura, observou-se notória semelhança.

Figura 11 – Exemplo de micrografia Ótica de um aço 1095 normalizado, com aumento de 1000x.

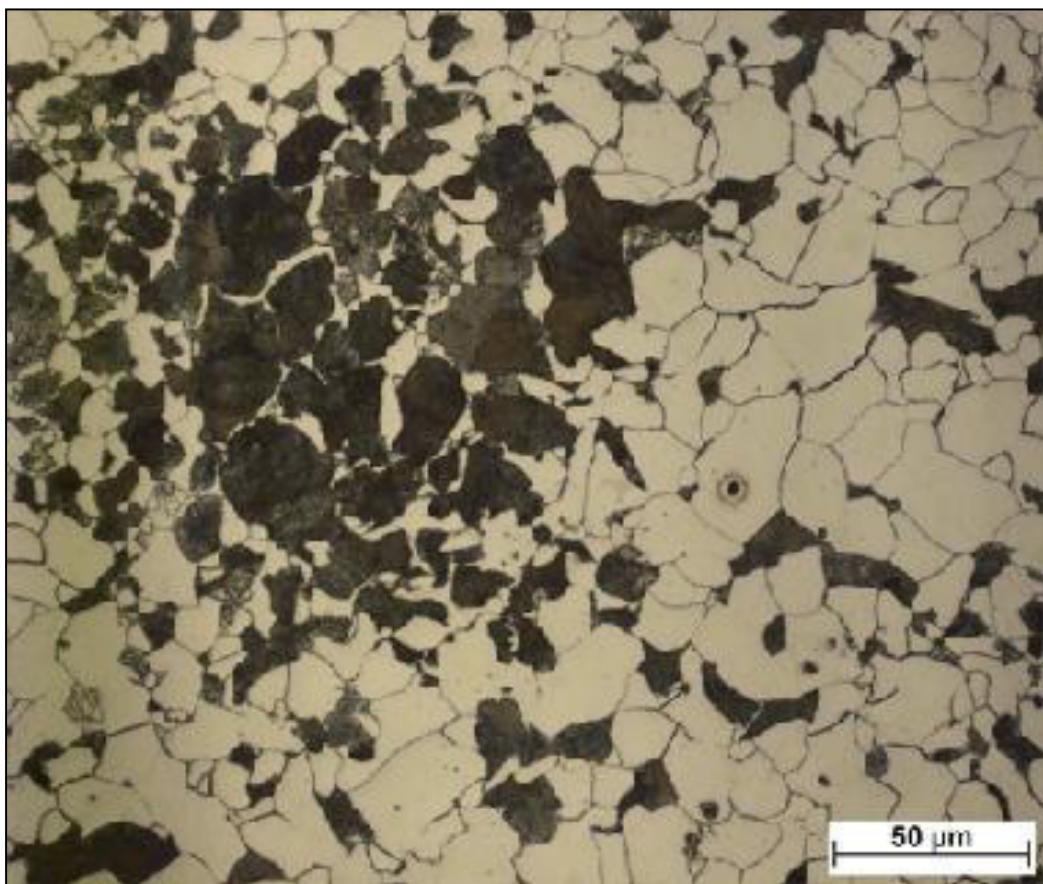


Fonte: Lima (2005)

#### 4.2.3 Caracterização dos Aços Carbono após tratamento Térmico de Recozimento Pleno

Como resultados da caracterização dos aços carbono após tratamento térmico de recocimento pleno, foram obtidas as micrografias exibidas na Figura 12 para o aço baixo carbono e na Figura 13 para o aço alto carbono.

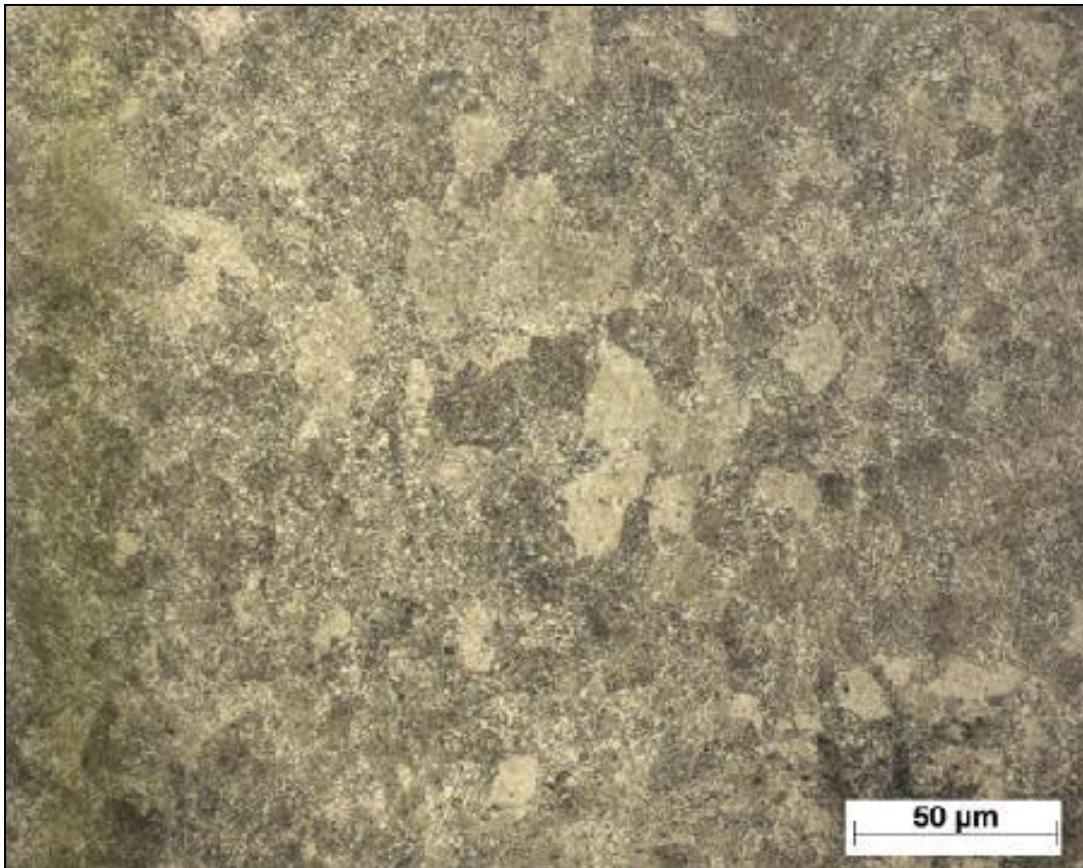
Figura 12 – Micrografia Ótica com aumento de 500x do aço baixo carbono recozido



Fonte: Elaborado pelo autor

Observando a Figura 12, é evidente a presença de ferrita e perlita grosseira, após o tratamento térmico de recozimento pleno realizado no aço baixo carbono, e que o resfriamento ao forno, que é um resfriamento mais lento se comparado com o tratamento térmico de normalização, permite que o aço seja exposto por maiores tempos em altas temperaturas, contribuindo, assim, para um maior crescimento nos tamanhos dos grãos na microestrutura.

Figura 4 – Micrografia Ótica com aumento de 500x do aço alto recozido.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 13 evidencia a presença de cementita e perlita grosseira após o tratamento térmico de recozimento.

O recozimento pleno foi devidamente realizado, pois a temperatura crítica não foi ultrapassada durante seu tratamento, e dessa forma não foi observado a presença de carbonetos nos contornos de grão.

#### 4.3 Dureza

Nesta seção serão apresentados os valores médios da dureza vickers para os aços baixo e alto carbono, como pode ser observado na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Resultado de dureza *vickers* dos aços analisados.

	Como Recebido	Recozido	Normalizado
Baixo Carbono	165.4HV	157.5HV	188HV
Alto Carbono	274.2HV	208.9HV	294.3HV

Fonte: Elaborado pelo autor

Como esperado, o tratamento de recozimento pleno, conferiu diminuição na dureza para os aços. Uma das causas para a menor dureza encontrada é devido à lenta taxa de resfriamento, que garante que boa parte da austenita se transforme primeiro para a ferrita pró-eutetóide e então o resto em perlita. Como resultado, a ferrita será equiaxial, com grãos relativamente grosseiros e em grande quantidade. A perlita terá um espaçamento interlamelar maior. Estas características microestruturais diminuem a dureza e a resistência, mas aumentam a ductilidade, que é justamente o objetivo do recozimento pleno.

E para o tratamento de normalização realizado em ambos os aços, ocorreu um aumento na dureza. Essa maior dureza ocorre em razão do rápido resfriamento produzir um menor tamanho de grão final, com menor quantidade de ferrita e uma maior quantidade relativa de perlita. Este último microconstituente com espaçamento interlamelar menor, o que torna o aço normalizado consideravelmente mais duro do que o mesmo aço na condição de recozido.

## 5. CONCLUSÃO

No tratamento térmico de normalização, observou-se um refino de grão em ambos os aços. Para o aço baixo carbono, verificou-se a presença de ferrita e perlita fina, e para o aço alto carbono, verificou-se a presença de cementita e perlita fina.

No tratamento de recozimento pleno observou-se, em ambos os aços, um aumento no tamanho de grão. Para o aço baixo carbono, verificou-se ferrita com a presença de perlita grosseira, e para o aço alto carbono, observou-se a presença de cementita e perlita grosseira.

Analizando a dureza, é perceptível que os aços submetidos ao tratamento de recozimento pleno sofreram uma diminuição na dureza. E os aços submetidos ao tratamento de normalização, sofreram aumento de dureza.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar ensaios de tração para determinar a resistência mecânica e comparar os resultados obtidos.

Realizar ensaios Charpy para determinar a tenacidade e comparar os resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Boiler & Pressure Vessel Code II Part A an International Code, Ferrous Material Specifications, New York. ed. 2013.
- CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- CALLISTER, W. D. Jr; **CIÊNCIA, DE MATERIAIS, Engenharia. Uma introdução**. 7<sup>a</sup> Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008
- Centro Brasileiro de Construção em Aço. (2014) **Aços Estruturais**. Rio de Janeiro. CBCA. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>>. Acesso em: Ago. 2017.
- CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica. **Estrutura e propriedades das ligas metálicas**. 2.ed. São Paulo, SP, Ed. Pearson Education do Brasil, 1986. v.1.
- CHIAVERINI, V. **Tratamentos térmicos das ligas metálicas**. São Paulo: ABM, 2003.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 4. Ed. Associação Brasileira de Metais, 1979.
- CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 7 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.
- COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. Ed. São Paulo, SP, Ed. Edgard McGraw-Hill, 2008.
- Fortis, C.; Kiss, F.J. **Tratamentos Térmicos de Aços e Ferros Fundidos**. 1 ed. 2014.
- J.T. Black, Ronald A. Koser. DeGarmo´s **Materials and Process in Manufacturing**.
- Krauss, G. S. (1994) **Heat treatment and processing principles**. Ohio: ASM International.
- Lima, Carmo Roberto Pelliciari de. **Introdução à metalografia dos aços carbono**. Campinas. 2005 (Apostila).
- Novikov, I. **Teoria dos Tratamentos Térmicos dos Metais**, Rio de Janeiro, Editora UFRJ , 1994.
- PANNONI, Fabio Domingos. **Aços Estruturais**. 2005.
- SOUZA, Sérgio Augusto de. **Composição química dos aços**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. 2 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1988.

