

---

**Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho - Deputado Waldyr Alceu Trigo**

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA “PAULA SOUZA”**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA (FATEC) DE SERTÃOZINHO – SP**

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECÂNICA: PROCESSOS DE  
SOLDAGEM.**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE UM FERRO FUNDIDO NODULAR COM  
DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS**

**ADRIANO AMARAL DE SOUZA**

**VITOR MOURA GONÇALVES**

**PROF. ORIENTADOR: PROF. DR. ALESSANDRO FRAGA FARAH**

**SERTÃOZINHO, SP**

**2024**

**ADRIANO AMARAL DE SOUZA**

**VITOR MOURA GONÇALVES**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE UM FERRO FUNDIDO NODULAR COM  
DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS**

Monografia Técnico-Científico apresentada como Trabalho de  
Conclusão de Curso (TCC) à Faculdade de Tecnologia de  
Sertãozinho, como parte dos requisitos para a obtenção do  
título de Tecnólogo em Mecânica: Processos de Soldagem.

**Orientador:** Prof. Dr. Alessandro Fraga Farah

**SERTÃOZINHO, SP**

**2024**

**ADRIANO AMARAL DE SOUZA e VITOR DE MOURA GONÇALVES**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE UM FERRO FUNDIDO NODULAR COM  
DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS**

Monografia Técnico-Científico apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) à Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnólogo em Mecânica: Processos de Soldagem.

**Orientador:** Prof. Dr. Alessandro Fraga Farah

**Data da aprovação:** \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

**MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA**

---

**Orientador:** Prof. Dr. Alessandro Fraga Farah  
**FATEC de Sertãozinho – SP – Brasil**

---

**Prof.**  
**FATEC de Sertãozinho – SP – Brasil**

---

**Prof.**  
**FATEC de Sertãozinho – SP – Brasil**

**Local:** Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho  
Sertãozinho – SP – Brasil

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, queremos agradecer a todos nossos familiares, que se não tivessem dado o apoio e auxílio não estaríamos realizando esta conquista. Agradecer a todo corpo docente que sempre esteve junto a nós durante todo este período de estudo, que com os ensinamento e o grande empenho e comprometimento com o seu trabalho foi capaz de nos auxiliar na formação e elaboração deste trabalho, agradecemos ao nosso Deus por nos ajudar nos momentos mais difíceis , se não fosse pela disposição e convicção que nos foi fornecida sobre o altíssimo não estaríamos aqui , assim com o objetivo de cumprir nossos objetivos tanto pessoais como profissionais.

## RESUMO

O desgaste abrasivo em componentes utilizados no setor agroindustrial é uma das maiores perdas de eficiência produtiva, pois aumenta o número de paradas para manutenção e troca de peças. Baseado nas evidências de campo, relatadas por diversas empresas, foi feito um estudo das propriedades de dureza e resistência ao impacto de ponteiras utilizadas em equipamentos agroindustriais, feitas de ferro fundido nodular e tratadas por austêmpera (ADI) e martêmpera. Para tanto, foram feitos ensaios de dureza, metalografia e impacto (ASTM G65). O objetivo desse trabalho foi relacionar a dureza e microestrutura com a resistência ao impacto desses componentes e identificar o melhor desempenho. As amostras de ferro fundido nodular foram enviadas por uma empresa fabricante de equipamentos agrícolas e foram tratadas numa empresa de tratamento térmico. As amostras utilizadas nesse trabalho foram transformadas em corpos de prova para os ensaios laboratoriais. Com os resultados de laboratório, foi estabelecida a melhor performance em relação à microestrutura, resistência ao impacto e dureza, onde os melhores resultados serão aplicados em campo pela empresa.

**Palavras-chave:** ferro fundido nodular, austêmpera, martêmpera, dureza, tenacidade.

## **ABSTRAC**

Abrasive wear on components used in the agro-industrial sector is one of the biggest losses of production efficiency, as it increases the number of stops for maintenance and replacement of parts. Based on field evidence, reported by several companies, a study will be carried out on the hardness and impact resistance properties of tips used in agro-industrial equipment, made of nodular cast iron and treated by austempering (ADI) and martempering. For this purpose, hardness, metallography and impact tests will be carried out (ASTM G65). The objective of this work is to relate the hardness and microstructure with the impact resistance of these components and identify the best performance. The nodular cast iron samples were sent by an agricultural equipment manufacturing company and were treated in a heat treatment company. The samples used in this work were transformed into specimens for laboratory tests. With the laboratory results, the best performance in relation to microstructure, impact resistance and hardness will be established, where the best results will be applied in the field by the company.

Keywords: ductile iron, austempering, martempering, hardness, toughness.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Exemplo de morfologia da grafita encontrada em ferros fundidos	<b>12</b>
<b>Figura 2</b>	Estrutura formada por agulhas de ferrita, placas de austenita e nódulos de grafita	<b>13</b>
<b>Figura 3</b>	Gráfico TTT de um processo de austêmpera	<b>14</b>
<b>Figura 4</b>	Gráfico TTT de um processo de martêmpera	<b>15</b>
<b>Figura 5</b>	Regiões da retirada dos corpos de prova das amostras enviadas	<b>16</b>
<b>Figura 6</b>	Corpos de prova das amostras enviadas	<b>17</b>
<b>Figura 7</b>	Gráfico comparativo entre a energia absorvida e a dureza das amostras enviadas	<b>18</b>
<b>Figura 8</b>	Microestruturas da Amostra 1	<b>19</b>
<b>Figura 9</b>	Microestruturas da Amostra 2	<b>20</b>
<b>Figura 10</b>	Microestruturas da Amostra 3	<b>20</b>
<b>Figura 11</b>	Microestruturas da Amostra 4	<b>21</b>
<b>Figura 12</b>	Microestruturas da Amostra 5	<b>21</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Tratamentos feitos nas amostras do FFN	<b>16</b>
<b>Tabela 2</b>	Resultados dos ensaios de impacto	<b>17</b>
<b>Tabela 3</b>	Resultados dos ensaios de dureza	<b>18</b>



## **SUMÁRIO**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
2.1	Ferros Fundidos	11
2.2	Ferros Fundidos Nodular	12
2.3	Ferros Fundidos Nodular Austêmperados	13
2.4	Tratamento de Austempera	14
2.5	Tratamento de Martêmpera	15
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>22</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ferro fundido nodular, conhecido também como ferro dúctil, é um material que tem se destacado, cada vez mais, na indústria devido às suas propriedades mecânicas excepcionais. O que torna esse tipo de ferro tão especial é a sua estrutura interna, onde o carbono livre, na forma de grafite, forma pequenas esferas, em vez de lamelas, como acontece no ferro fundido cinzento. Essa característica única confere ao ferro nodular uma combinação rara de resistência, flexibilidade e durabilidade, qualidades que são altamente valorizadas em várias aplicações industriais. Com o objetivo de explorar ao máximo as capacidades desse material, diferentes tratamentos térmicos são aplicados ao ferro nodular. Esses tratamentos, que incluem processos como normalização, têmpera e revenimento, martêmpera e austêmpera, têm a capacidade de alterar sua microestrutura e, conseqüentemente, suas propriedades mecânicas. Por exemplo, alguns tratamentos podem aumentar a dureza e a resistência ao desgaste, enquanto outros podem melhorar a ductilidade e a tenacidade. Assim, escolher o tratamento térmico adequado é crucial para que o ferro nodular atenda às exigências específicas de cada aplicação. Este Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo relacionar a dureza e microestrutura com resistência ao impacto desses componentes e assim identificar melhor desempenho. E também entender melhor as análises e propriedades do ferro nodular e investigar como diferentes tratamentos térmicos influenciam essas características. A importância desse estudo reside no potencial de otimizar o uso do ferro nodular em várias indústrias, como a automotiva, ferroviária e de maquinário pesado. Ao aprofundarmos nosso conhecimento sobre os efeitos dos tratamentos térmicos, podemos desenvolver práticas mais eficientes e sustentáveis para o processamento desse material.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Ferro Fundido

Os ferros fundidos são muito usados na indústria porque são mais fáceis e baratos de produzir em comparação com os aços. Devido à sua importância, esses materiais estão constantemente sendo melhorados tanto nos processos de fabricação quanto nas propriedades dos materiais.

Existem alguns tipos de ferro fundido, onde os principais são: branco, cinzento, mesclado, maleável, nodular e vermicular. Eles são compostos principalmente de ferro, carbono e silício, com o teor de carbono geralmente acima de 2%. Além disso, podem conter outros elementos como manganês, enxofre e fósforo, que podem ajudar a melhorar a produtividade dependendo da aplicação (CHIAVERINI, 2012; CALLISTER, 2012).

Os ferros fundidos têm um teor de carbono que varia de 1,8% a 4,5% e derretem a uma temperatura relativamente baixa, em torno de 1200°C. Esse excesso de carbono se apresenta na forma de veios ou lamelas de grafita, cuja configuração depende do processo de tratamento do ferro fundido. Embora o magnésio, o fósforo e o enxofre sejam considerados impurezas, eles podem ser adicionados para melhorar determinadas propriedades do material (CHIAVERINI, 2012; CALLISTER, 2012; SOUZA, 2015).

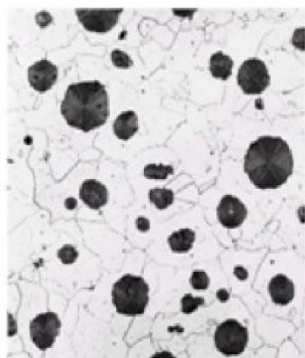
As propriedades dos ferros fundidos, são muito influenciadas pelo teor de carbono, tipo de liga e tratamento térmico. No estado bruto de fundição, suas propriedades mecânicas são definidas pela microestrutura, mais precisamente, pela forma em que o carbono se encontra combinado: na forma de grafita apresenta dureza baixa, baixa resistência mecânica e boa usinabilidade; na forma de cementita, apresenta dureza elevada, alta resistência mecânica e ao desgaste e baixa tenacidade (CHIAVERINI, 2012; CALLISTER, 2012; SOUZA, 2015).

A Figura 1 ilustra alguns tipos de ferros fundidos de acordo com o tipo de grafita encontrada na sua microestrutura.

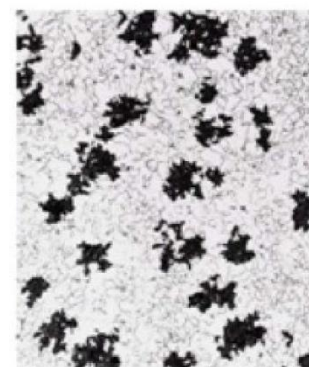
**Figura 1. Exemplo de morfologia da grafita encontrada em ferros fundidos**



**Ferro fundido Cinzento**



**Ferro Fundido Nodular**



**Ferro Fundido Maleável**

**Fonte:** (CALLISTER, 2012)

## **2.2 Ferro Fundido Nodular**

O ferro fundido nodular (FFN) tem sido amplamente estudado ao longo dos anos devido às suas características que lembram os aços de baixo e médio carbono, além de seu baixo custo de produção. Essas qualidades fazem com que seja muito utilizado na indústria. O FFN é utilizado na indústria para a confecção de peças que necessitem de maior resistência a impacto em relação aos ferros fundidos cinzentos, além de maior resistência à tração e resistência ao escoamento, característica que os ferros fundidos cinzentos comuns não possuem à temperatura ambiente. Suas propriedades mecânicas incluem boa resistência mecânica à tração, boa ductilidade e resiliência, e boa resistência à compressão (GUESSER, 2009; CHIAVERINI, 2012; CALLISTER, 2012).

As características que dão boas propriedades mecânicas ao FFN estão na estrutura da sua matriz. Essa matriz contém nódulos esferoidais de grafita, que são formados durante o estado líquido da liga, através de tratamento térmico e adição de agentes nodulizantes. Esses nódulos esferoidais são cruciais porque não interrompem a continuidade da matriz metálica, como acontece com a grafita em veios, resultando em melhor ductilidade, tenacidade e resistência mecânica (GUESSER, 2009; CHIAVERINI, 2012).

Os nódulos de grafita são envolvidos por uma matriz metálica que pode ser ferrítica, perlítica ou ferrítica/perlítica. Essa combinação microestrutural permite que o FFN tenha uma melhoria das suas propriedades (GUESSER, 2009).

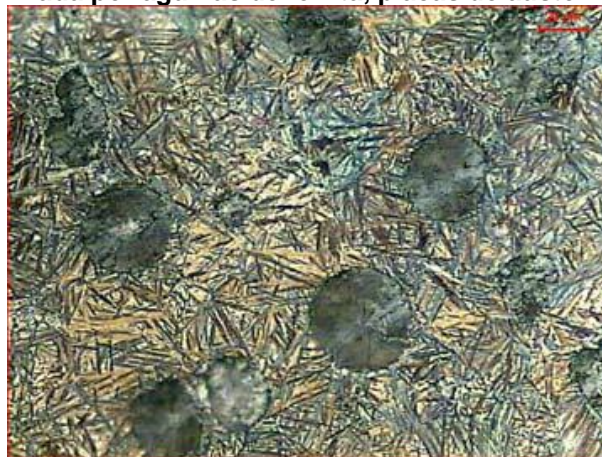
No FFN perlítico, a matriz é principalmente composta por perlita. Essa matriz pode também incluir diferentes quantidades de ferrita, e a proporção entre ferrita e perlita é o que determina as diversas classes de FNN. Embora o FNN perlítico tenha um alto percentual de alongamento, possui baixa resistência mecânica, o que limita suas aplicações. Entretanto, podemos melhorar as propriedades de resistência, impacto e dureza, fazendo o uso de tratamentos térmicos (ISRAEL, 2005; GUESSER, 2009; CHIAVERINI, 2012; CALLISTER, 2012).

### **2.3 Ferro Fundido Nodular Austemperado (ADI)**

O ferro fundido nodular austemperado (ADI) tem sido bastante estudado devido as suas melhores características de resistência à tração, ductilidade, resistência ao desgaste e tenacidade (ISRAEL, 2005; SOUZA, 2015).

O ADI é chamado de ferro fundido nodular ausferrítico, porque sua estrutura interna é uma combinação de austenita e agulhas de ferrita. Devido ao tratamento ser a austêmpera, ainda se usa o termo bainita para a estrutura obtida pelo FFN após o tratamento (SOUZA, 2015; PIMENTEL & GUESSER, 2017). A Figura 2, mostra uma estrutura típica de ADI.

**Figura 2. Estrutura formada por agulhas de ferrita, placas de austenita e nódulos de grafita**



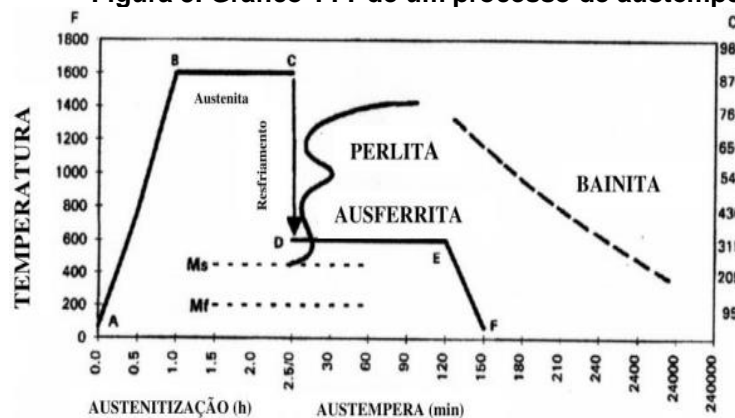
Fonte: (DIAS et al., 2010)

A formação da reação bainítica não é algo que queremos nos ferros fundidos, pois traz consigo carbonetos de ferro na estrutura, o que diminui a ductilidade e a resistência ao impacto do material. Por isso, é fundamental encontrar a combinação certa das fases que compõem a ferrita, de modo a aumentar a resistência à tração sem comprometer muito a capacidade do material de ser moldado. (BALZER, 2003; DIAS et al., 2010; SOUZA, 2015).

## 2.4 Tratamento de Austêmpera

O tratamento térmico de austêmpera envolve aquecer o material e depois resfriá-lo rapidamente até uma certa temperatura, em banho de sal, onde é mantido por um tempo. A temperatura do banho de sal é em torno de 230 a 420°C. Isso cria uma microestrutura chamada de ausferrita, que consiste em uma fina matriz de ferrita e austenita estabilizada. Essa estrutura dá ao ferro fundido propriedades mecânicas únicas e melhoradas (CHIAVERINI, 2012; ISRAEL, 2005). A Figura 3 mostra um desenho esquemático do tratamento de austêmpera.

Figura 3. Gráfico TTT de um processo de austêmpera



Fonte: (GUIDETTI, 2019)

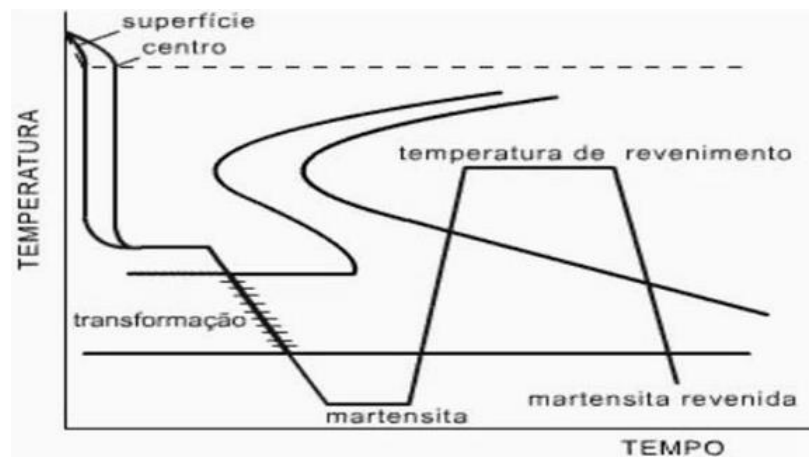
Quando se usa altas temperaturas de austêmpera, consegue-se materiais com uma tenacidade à fratura mais alta. Isso acontece porque há mais austenita na matriz, o carbono nela é maior, e o material fica mais maleável. A temperatura exata de aquecimento depende da composição química do ferro nodular e do tipo de propriedades mecânicas que se quer obter, além do tamanho da peça que está sendo tratada (BALZER, 2003; BUENO, 2019; MÜLLER, 2020).

## 2.5 Tratamento de Martêmpera

A martêmpera produz uma estrutura martensítica, sem resultar em tensões elevadas como acontece com a têmpera usual; deve-se, contudo, proceder a um revenido posterior. A martêmpera, por outro lado, permite obter uma dureza final maior do que a da austêmpera; essa diferença é, entretanto, eventualmente diminuída, devido ao revenido da martêmpera. (CHIAVERINI, 2012; INFOMET, 2024).

É um tratamento isotérmico composto de austenitização seguida de resfriamento brusco até temperatura ligeiramente acima da faixa de formação martensítica, em banho de sal fundido, manutenção na temperatura do banho até a uniformização da temperatura do material e posterior resfriamento ao ar, até a temperatura ambiente. Os banhos de sais para martêmpera, operam em temperaturas de 155 a 220°C (CHIAVERINI, 2012; GUIDETTI, 2019; INFOMET, 2024). Na Figura 4 é mostrado gráfico TTT do tratamento isotérmico de martêmpera.

Figura 4. Gráfico TTT de um processo de martêmpera



Fonte: (GUIDETTI, 2019)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram ponteiras de ferro fundido nodular da haste do escarificador, cedidas pela Empresa Inroda (Indústria de Roçadeiras Desbravador Avaré Ltda), de Avaré-SP. As ponteiras foram enviadas fundidas e depois retirou-se as pontas para tratamentos térmicos de austêmpera e martêmpera, na Empresa Termbrás de Tratamento Térmico, de Jardinópolis-SP. As amostras 1, 2, 3 e 4 foram austenitizadas a 900°C por duas horas e posteriormente austemperados em banho de sal em diferentes temperaturas e tempos. A amostra 5 foi austenitizada a 900°C por duas horas e martemperada em banho de sal na temperatura de 240°C e tempo de 1 hora. A amostra 5 foi revenida a 170°C por 1h. Os tratamentos realizados nas amostras estão listados na Tabela 1.

**Tabela 1: Tratamentos feitos nas amostras do FFN**

Amostras	Tratamentos	Temperaturas (°C)	Tempos (h)
Amostra 1	Austêmpera	330	1
Amostra 2	Austêmpera	330	1,5
Amostra 3	Austêmpera	340	1
Amostra 4	Austêmpera	340	1,5
Amostra 5	Martêmpera	240	1

Fonte: (Os autores, 2024)

Após os tratamentos térmicos os corpos de prova para os ensaios de impacto, dureza e metalografia foram obtidos por corte por eletroerosão a fio. A Figura 5 mostra as regiões das retiradas dos corpos de prova.

**Figura 5: Regiões da retirada dos corpos de prova das amostras enviadas**



Fonte: (Os autores, 2024)



Os corpos de prova para os ensaios de impacto foram confeccionados conforme norma ASTM E23-16. Foram feitos três ensaios para cada tratamento em estudo. A Figura 6 mostra os corpos de provas retirados das amostras.

**Figura 6: Corpos de prova das amostras enviadas**



Fonte: (Os autores, 2024)

Os ensaios de dureza foram feitos nas superfícies das amostras após retificadas, segundo a norma ASTM E18-15. Para cada amostra foram feitas cinco medidas em durômetro tipo Rockwell, na escala C (dureza HRc ou Rockwell C).

Para as análises metalográficas as amostras foram cortadas, embutidas, lixadas, polidas e atacadas quimicamente para análise microscópica e visual e registro fotográfico, segundo a norma ASTM E3-11.

Todos os ensaios foram feitos na Fatec Sertãozinho.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de impacto estão na Tabela 2.

**Tabela 2: Resultados dos ensaios de impacto.**

Amostra	Energia Absorvida (J)	Desvio Padrão
Amostra 1	12,3	0,5
Amostra 2	59,0	6,2
Amostra 3	23,7	4,5
Amostra 4	18,0	4,2
Amostra 5	18,3	0,5

Fonte: (Os autores, 2024)

Nota-se uma variação muito grande dos resultados, quando se compara os diferentes tratamentos. As amostras 3, 4 e 5 tiveram resultados próximos ou até iguais se considerarmos o desvio padrão.

Os resultados dos ensaios de dureza são mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3: Resultados dos ensaios de dureza.**

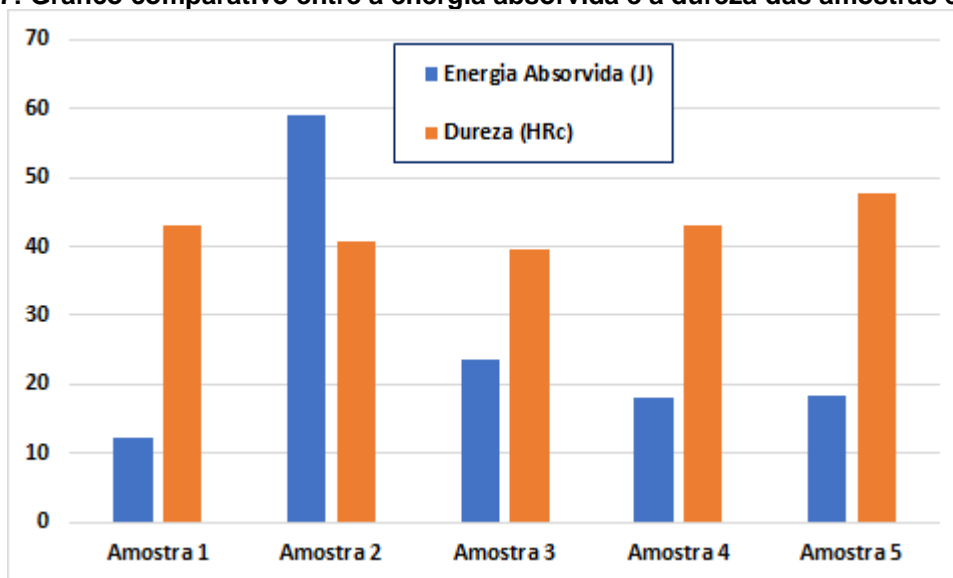
Amostra	Dureza (HRc)	Desvio Padrão
Amostra 1	43,0	2,2
Amostra 2	40,7	2,6
Amostra 3	39,7	2,0
Amostra 4	43,0	0,8
Amostra 5	47,8	0,6

Fonte: (Os autores, 2024)

A variação dos resultados de dureza entre as amostras 1, 2, 3 e 4 não foi significativos, conforme desvio padrão apresentado. Entretanto, a amostra 5 ficou com a dureza mais alta que as demais.

A Figura 7 mostra a relação entre a energia absorvida no ensaio de impacto e a dureza das amostras com os diferentes tratamentos.

**Figura 7: Gráfico comparativo entre a energia absorvida e a dureza das amostras enviadas.**

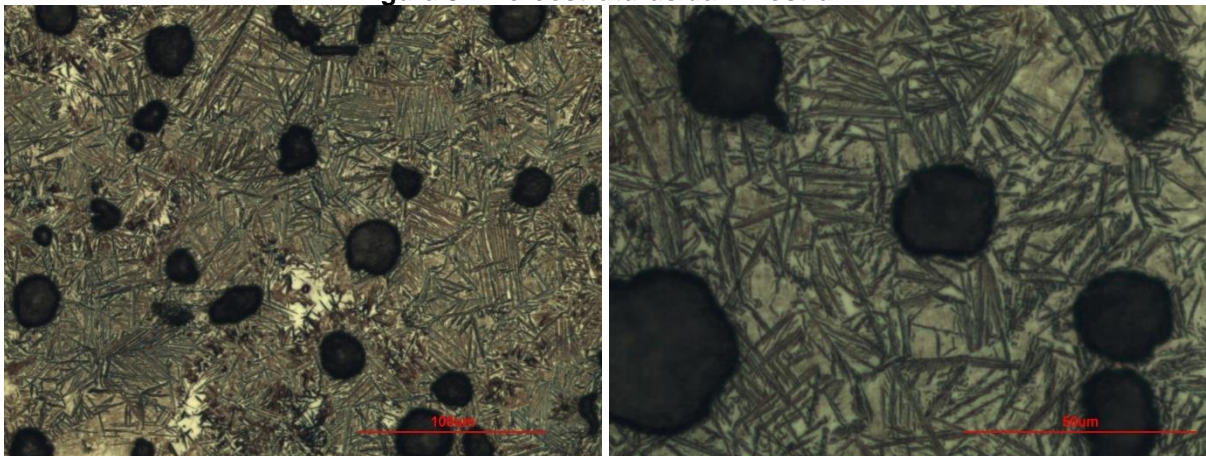


Fonte: (Os autores, 2024)

A relação entre as propriedades de energia absorvida e dureza seguem a relação e definição teórica, de que quanto maior a dureza, menor a energia de impacto. Entretanto a Amostra 2, apresentou um resultado diferente, que poderá ser explicado com as análises das microestruturas a seguir.

A Figura 8 (a) e (b) mostra as micrografias da Amostra 1. Nota-se nas micrografias uma microestrutura típica de ferro fundido nodular austemperado. É visível a presença de nódulos de grafita (fases escuras arredondadas), ferrita acicular (fase fina e alongada) e austenita (fase acinzentada entre as agulhas de ferrita). A microestrutura composta de ferrita e austenita, dá-se o nome de ausferrita. É possível identificar a presença de grafita em veios/vermicular (fase escura grossa e alongada) além de inclusões de sulfetos de manganês (MnS) caracterizados pelas pequenas fases escuras entre a austenita retida (fase mais clara).

**Figura 8: Microestruturas da Amostra 1**



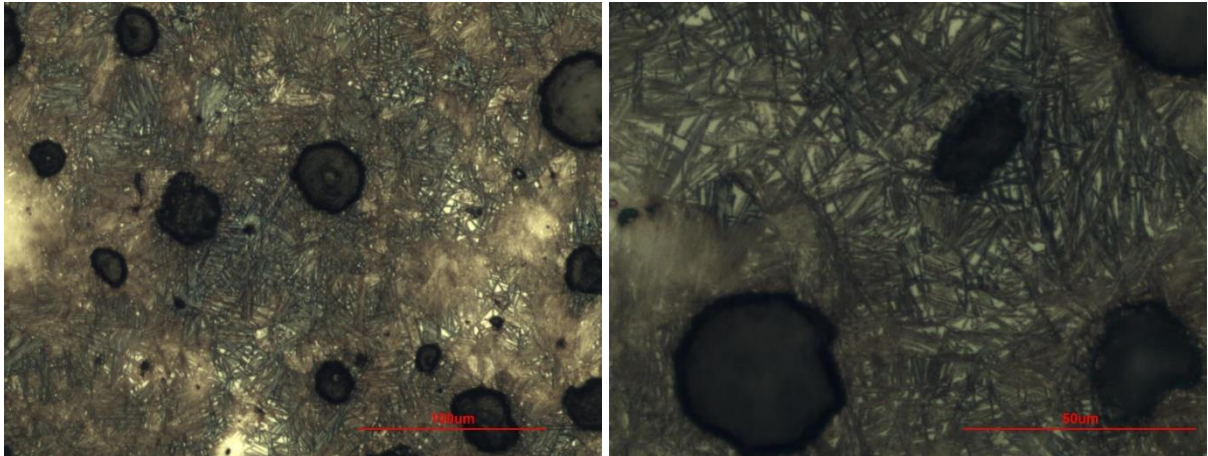
(a) Aumento: 200x. Ataque: Marble.

(b) Aumento: 500x. Ataque: Marble.

Fonte: (Os autores, 2024)

A Figura 9 mostra as micrografias da Amostra 2. Nota-se nas micrografias uma microestrutura típica de ferro fundido nodular austemperado. É visível a presença de nódulos de grafita (fases escuras arredondadas) numa matriz de ausferrita e ferrita acicular (fase fina e alongada) e austenita (fase acinzentada entre as agulhas de ferrita). Nota-se também a presença de inclusões de sulfetos de manganês (MnS), pequenas fases escuras entre a austenita retida (fase mais clara).

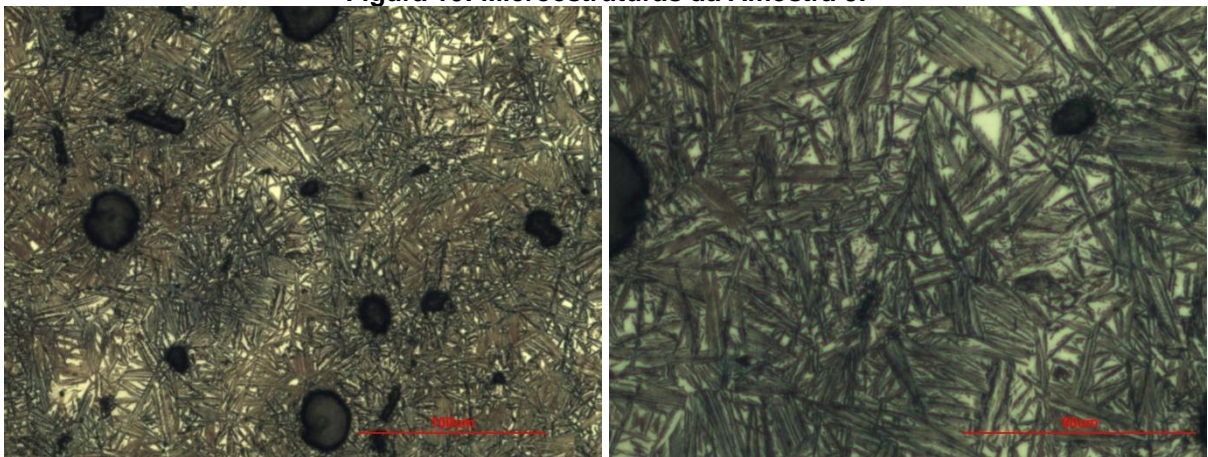
**Figura 9: Microestruturas da Amostra 2**



(a) Aumento: 200x. Ataque: Marble. (b) Aumento: 500x. Ataque: Marble.  
 Fonte: (Os autores, 2024)

A Figura 10 mostra as micrografias da Amostra 3. Nota-se nas micrografias uma microestrutura típica de ferro fundido nodular austemperado. Vê-se a presença de nódulos de grafita (fases escuras arredondadas) numa matriz de ausferrita. É possível verificar a presença de pequena quantidade de grafita em veios, além da presença de inclusões de sulfetos de manganês (MnS).

**Figura 10: Microestruturas da Amostra 3.**



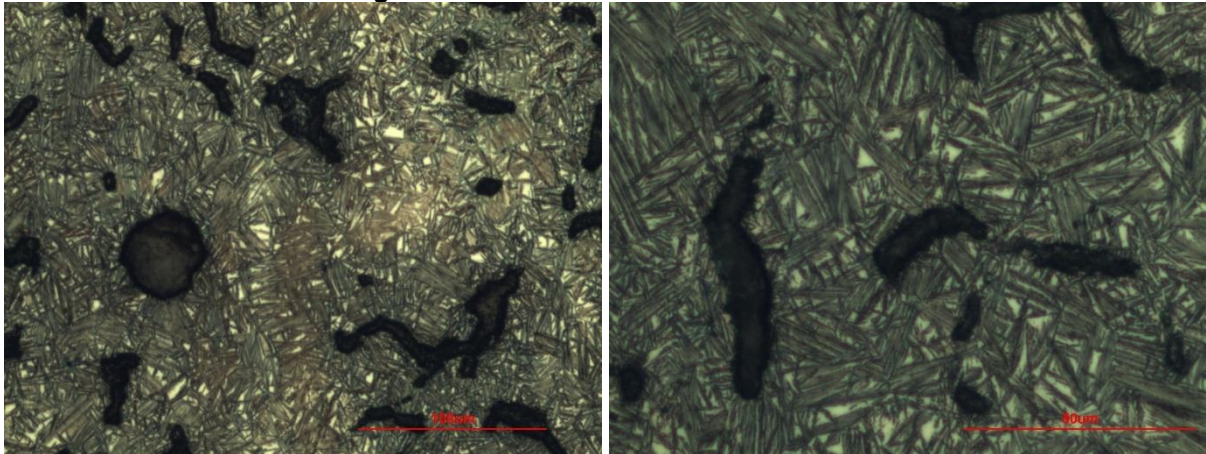
(a) Aumento: 200x. Ataque: Marble. (b) Aumento: 500x. Ataque: Marble.  
 Fonte: (Os autores, 2024)

A Figura 11 mostra as micrografias da Amostra 4. Microestrutura típica de ferro fundido nodular austemperado. É visível a presença de nódulos de grafita (fases escuras arredondadas) numa matriz de ausferrita, ferrita acicular (fase fina e alongada) e austenita (fase acinzentada, entre as agulhas de ferrita). É possível



verificar a presença de uma maior quantidade de grafita em veios tipo vermicular, além da presença de inclusões de sulfetos de manganês (MnS).

**Figura 11: Microestruturas da Amostra 4**



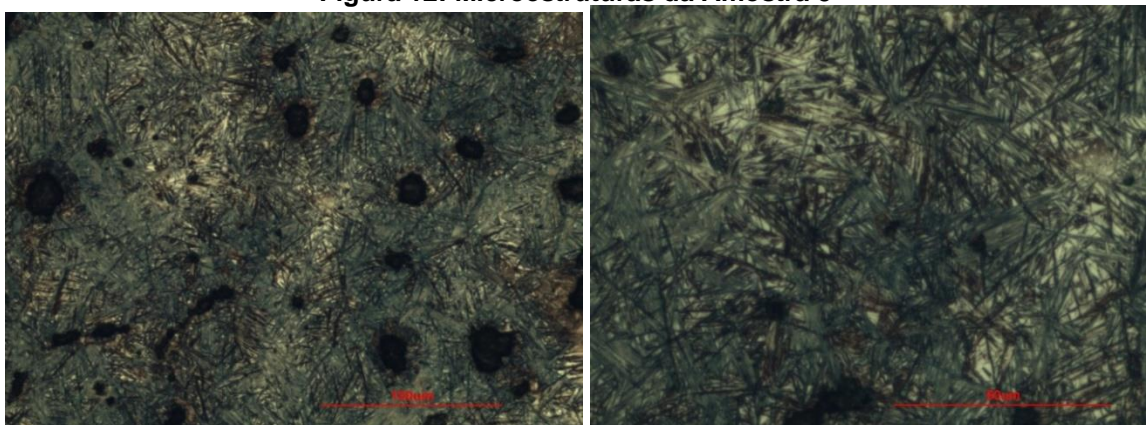
(a) Aumento: 200x. Ataque: Marble.

(b) Aumento: 500x. Ataque: Marble.

Fonte: (Os autores, 2024)

A Figura 12 mostra as micrografias da Amostra 5. Nota-se uma microestrutura composta de nódulos de grafita (fases escuras arredondadas) numa matriz de ausferrita e martensita em forma de agulhas (fases escuras finas e alongadas). Essa amostra passou por um tratamento de martêmpera, entretanto é possível notar a presença de austenita retida. É provável que a temperatura e/ou o tempo não tenham sido suficientes para uma total transformação. É possível verificar a presença de grafita em veios e também a presença de inclusões de sulfetos de manganês (MnS).

**Figura 12: Microestruturas da Amostra 5**



(a) Aumento: 200x. Ataque: Marble.

(b) Aumento: 500x. Ataque: Marble.

Fonte: (Os autores, 2024)

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados foram obtidas algumas conclusões:

- Os tratamentos isotérmicos aplicados ao ferro fundido nodular foram parcialmente satisfatórios e atingiram os objetivos finais de modificar a microestrutura do ferro fundido em estado bruto de fusão.

- Os tratamentos de austêmpera tiveram durezas bem próximas. A variação de tempo e temperatura do banho de resfriamento não produziu mudança significativa nas propriedades de dureza. Entretanto, quando se analisa a energia de impacto, nota-se que a Amostra 1 teve a menor energia absorvida, o que pode ser explicado pela presença de grafita em veios, e a alta energia absorvida pela Amostra 2 pode estar relacionada à não presença de veios de grafita.

- As amostras 4 e 5, apesar de tratamentos diferentes, apresentaram energias de impacto bem semelhantes, mas com durezas bem diferentes. Provavelmente pela baixa quantidade de grafita em veios ser bem menor na Amostra 5.

- Apesar da martêmpera não ter sido completa, a Amostra 5 obteve a maior dureza e também uma boa relação de energia de impacto.

De acordo com os resultados e as conclusões os objetivos do trabalho foram alcançados.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM E3 – 11. **Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens**, ASTM International, West Conshohocken, EUA, 2011.

ASTM E18 – 15. **Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials**. 2015. ASTM International. West Conshohocken, EUA, 2015.

ASTM E23 – 16. **Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials**. 2016. ASTM International. West Conshohocken, EUA, 2016.

ASTM G65 – 16, **Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus**, ASTM International, West Conshohocken, EUA, 2016.

BALZER, E. M. **Determinação da “janela de processo” de austêmpera de um ADI sem adição de elementos de liga através de ensaios mecânicos e metalográficos**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Florianópolis, 2003.

BUENO, B. **Avaliação da austemperabilidade de um ferro fundido nodular em banho de ligas metálicas**. Dissertação (mestrado) Pontifca Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais. Porto Alegre, 2019.

CALLISTER Jr, W D. **Ciência e engenharia dos materiais uma introdução**, 7ª edição, Rio de Janeiro. Editora GEN-LTC, 2012.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**, 7ª edição, São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 2012.

DIAS, J. F.; FONSECA, V. R.; RIBEIRO, G. O.; GODEFROID, L. B. **Correlação entre parâmetros microestruturais do Ferro fundido nodular austemperado (adi) com suas propriedades à fadiga utilizando uma abordagem baseada na mecânica de fratura**. Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GUESSER, W L. **Propriedades mecânicas dos ferros fundidos**, 1ª edição, São Paulo: Editora Blucher, 2009.

GUIDETTI, G. E. C. B. **Estudo das propriedades da liga de ferro fundido nodular austemperado obtido a partir da liga SAE J434 - D5504.** 2019. 161f. Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica) - Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2019.

INFOMET. Disponível em: <https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=149>. Acesso em: 11 de maio de 2024.

ISRAEL, C. L. **Estudo comparativo da resistência ao desgaste e ao impacto de ferros fundidos de alto desempenho.** Dissertação (mestrado) em Metalurgia Física do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

MÜLLER, M. M. **Avaliação do Material Ferro Fundido Nodular Austemperado para Aplicação em Placas de Desgaste de Suspensão Rodoviária.** Dissertação (mestrado) Pontifca Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais. Porto Alegre, 2020.

PIMENTEL, A. S. O.; GUESSER, W. L. **Tratamento térmico de austêmpera em ferro fundido nodular com adições de nióbio e de cromo.** revista Matéria, v.22, n.2, 2017. ISSN 1517-7076 artigo e11816, 2017.

SOUZA, V. B. **Desenvolvimento de ferro fundido austemperado (ADI) em banho de zinco-alumínio.** Dissertação (mestrado) Pontifca Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais. Porto Alegre, 2015.