

## ANÁLISE METALOGRÁFICA DO FERRO FUNDIDO NODULAR

João Vitor Magalhães Ramos Silva<sup>1</sup>  
João Vitor Macieira Resende<sup>2</sup>

**RESUMO:** O ferro fundido nodular, além de possuir alta resistência à tração, apresenta inúmeras possibilidades de aplicação que permite a obtenção de diferentes estruturas. Assim, foi obtida uma amostra de uma catraca para freio de caminhão com objetivo de realizar uma análise metalográfica e obter o percentual de perlita e ferrita. Além disso, compreender os aspectos que envolvem tal processo para correlacionar o resultado obtido com o esperado pela literatura. Foram utilizados quatro métodos no processo de preparação da amostra, sendo esses: corte, lixamento, polimento e ataque químico. Na primeira etapa foi realizado o corte da amostra, sendo esse, efetuado de forma lenta para evitar que ocorresse danos na superfície da peça. Posteriormente, foi realizado o lixamento com objetivo de eliminar marcas mais profundas e arranhões na superfície da peça decorrido do processo anterior. Após o lixamento, efetuou-se o polimento da peça onde foi atribuído à máquina uma velocidade de 150 a 600 rpm, usando alumina  $0,3\mu\text{c}$  e percorrendo para alumina  $0,1\mu\text{c}$ . Por fim, operou-se o ataque químico com Sol Nital (5% de ácido nítrico e 95% de álcool), ficando, a peça, imersa por 35 a 40 segundos. O material apresentou como resultado 55% de perlita e 45% de ferrita, sendo esses dados correlacionados com a literatura comprovando a composição da microestrutura.

2220

**Palavras-chave:** Ferro fundido. Análise metalográfica. Nodulização. Propriedades mecânicas.

**ABSTRACT:** Ductile cast iron, in addition to having high tensile strength, presents numerous application possibilities that allow obtaining different structures. Thus, a sample of a truck brake ratchet was obtained in order to perform a metallographic analysis and obtain the percentage of pearlite and ferrite. In addition, understanding the aspects that involve such a process to correlate the result obtained with that expected by the literature. Four methods were used in the sample preparation process, namely: cutting, sanding, polishing and chemical attack. In the first step, the sample was cut, which was done slowly to prevent damage to the surface of the piece. Subsequently, sanding was carried out in order to eliminate deeper marks and scratches on the surface of the piece resulting from the previous process. After sanding, the piece was polished and the machine was set to a speed of 150 to 600 rpm, using  $0.3\mu\text{c}$  alumina and passing through  $0.1\mu\text{c}$  alumina. Finally, chemical attack was carried out with Sol Nital (5% nitric acid and 95% alcohol), leaving the piece immersed for 35 to 40 seconds. The material presented as a result 55% of pearlite and 45% of ferrite, being these data correlated with the literature proving the composition of the microstructure.

**Keywords:** Cast iron. Metallographic analysis. Nodulization. Mechanical properties.

<sup>1</sup> Afya Uniredentor. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9386-1667>.

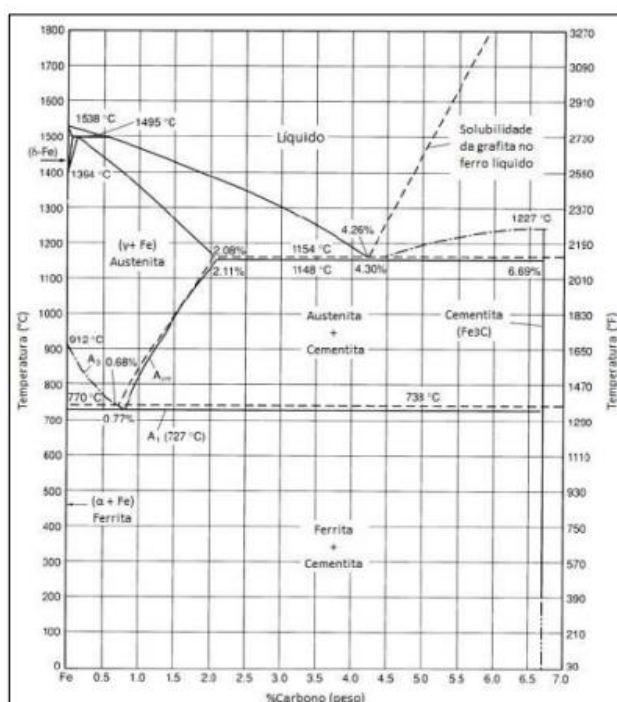
<sup>2</sup> Afya Uniredentor.

## INTRODUÇÃO

Apesar do desenvolvimento constante de novos materiais o ferro fundido em diversas aplicações continua sendo indispensável à humanidade. Seu baixo custo de produção e sua capacidade de combinar com outros elementos garantem uma elevada tenacidade. Deste modo, esse cenário permite que o ferro fundido seja utilizado em um amplo repertório de aplicações graças aos avanços no campo da pesquisa e da tecnologia, que propiciam o desenvolvimento de diferentes métodos de obtenção de estruturas e suas respectivas alterações.

Define-se como ferro fundido “as ligas Fe-C cujo teor de carbono se situa superior a 2 % aproximadamente”. É considerado uma liga ternária Fe-C-Si, já que o silício está muitas vezes presente em quantidades superiores ao do próprio carbono. (CHIAVERINI, 1996). Do ponto de vista comercial o teor de carbono é de até 4,5%, pois acima disso apresentam alta dureza uma razoável fragilidade e baixo uso industrial. A figura abaixo apresenta o Diagrama de equilíbrio Ferro Carbono (Fe-C), mostrando o teor de Carbono.

**Figura 1:** Diagrama Ferro - Carbono (Fe - C)



**Fonte:** Adaptado de Handbook (1993).

Vale ressaltar, que existem vários tipos de liga dentro da denominação de ferro fundido. Os principais são: Ferro fundido branco, cinzento e nodular. Tomando para este estudo o ferro fundido nodular. Guesser (2009) diz que: Com a finalidade de reduzir custos

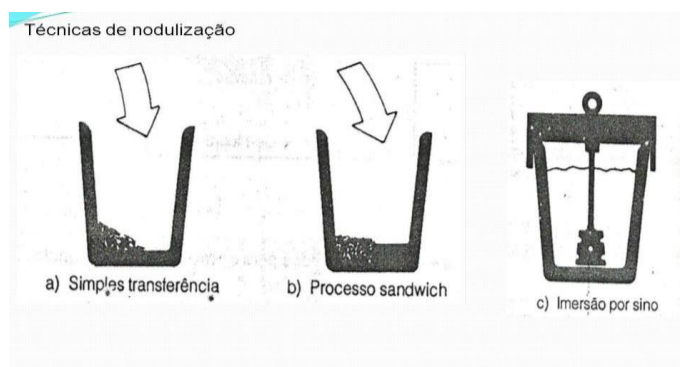
operacionais e assim, promover o aumento da produtividade se destaca na indústria automotiva o ferro fundido nodular com ênfase para sua resistência à tração. A ductilidade exibida pelo ferro fundido nodular é obtida pela formação de uma estrutura com grafite esferoidal que promove a continuidade da matriz, podendo ser perlítica ou ferrítica, o que permite obter trechos de 10 a 22%, associados a um limite de resistência de 380-450 MPa.

Para obter grafite esferoidal, o metal ainda líquido passa por um processo chamado esferoidização (nodulização) responsável pela adição de elementos químicos que promovem a formação de nódulos de grafite. Nesse processo são utilizadas diferentes técnicas, sendo mais comuns as de transferência simples, sandwiche e imersão por sino. (Chiaverinni, 2002).

Em uma técnica de transferência simples, o nodulizador é colocado no fundo da panela e coberto com sucata antes que o metal seja vazado. Já na tecnologia sandwiche, o fundo da panela para vazamento de metal possui um degrau no qual o nodulizador é pré-colocado e coberto com resíduos de aço antes do vazamento. Em ambos os casos, o resíduo utilizado no revestimento nodularizador atrasa a reação, aumentando, assim, a eficiência do nodulizante, resultando em maior esferoidização. Na técnica de imersão por sino, o elemento de nodulação é colocado em um invólucro de aço na extremidade de uma haste presa à tampa da panela. Quando a panela é coberta, a casca contendo o agente esferoidizante atinge o fundo da mesma e derrete, iniciando o processo de esferoidização (nodulização). Independentemente da técnica utilizada, ao reagir, o nodulizador ferve, vaporiza e começa a dessulfurar o metal líquido, criando condições favoráveis para a formação de grafite esferoidal (nodular). (Souza Santos et al, 1989).

2222

**Figura 2:** Técnicas de nodulização



**Fonte:** Adaptado de (Santos et al,1989).

Nesse sentido, a disseminação do conhecimento do ferro fundido nodular tem contribuído para o entendimento das alterações estruturais e propriedades desse material causadas pelos processos de inoculação e nodulização. O desempenho desta análise

metalográfica e seu registro são demonstrados cientificamente pela análise sistemática das mudanças na microestrutura e nas propriedades mecânicas.

## OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise metalográfica do ferro fundido nodular e por meio desta observação determinar a porcentagem de ferrita e perlita presente no material e por meio da amostra entender porque esse material é utilizado na confecção de catracas para freios.

## METODOLOGIA

### Obtenção da amostra

A amostra de ferro fundido nodular estudada neste relatório foi coletada de um sistema de freio de caminhão.

### Materiais utilizados

- Máquina de corte (Policorte metalográfica);
- Lixadeira semiautomática politriz (PLR-II), Polipan (2) e DP (10);
- Microscópio (Panbac);
- Câmera (para conectar ao microscópio);
- Lixas de 220, 320, 400, 600 e 1200;
- Abrasivos (Suspensão de alumina e Sol. Nita);
- EPIs (Luva cirúrgica e óculos).

2223

**Figura 3:** Máquina policorte.



**Fonte:** Arquivo pessoal.

**Figura 4:** Lixadeira semiautomática DP (10).



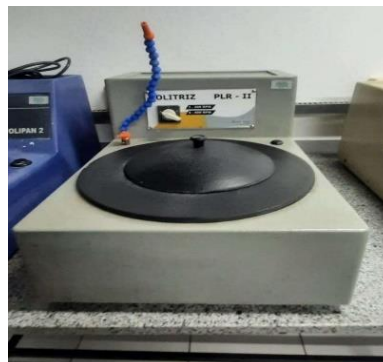
**Fonte:** Arquivo pessoal.

**Figura 5:** Lixadeira semiautomática Polipan (2).



**Fonte:** Arquivo pessoal.

**Figura 6:** Lixadeira semiautomática politriz (PLR-II).



**Fonte:** Arquivo pessoal.

**Figura 7:** Microscópio Panbac.



**Fonte:** Arquivo pessoal.

**Figura 8:** Câmera para o microscópio



**Fonte:** Arquivo pessoal.

**Figura 9:** Lixas



**Fonte:** Arquivo pessoal.

**Figura 10:** Abrasivos



Fonte: Arquivo pessoal.

**Figura 11:** Secador



Fonte: Arquivo pessoal.

**Figura 12:** EPI'S



Fonte: Arquivo pessoal.

## PREPARAÇÃO METALGRÁFICA DA AMOSTRA

Como dito anteriormente o corpo de prova utilizado no presente trabalho foi obtido através de uma catraca de freio, cujo seu material é constituído de ferro fundido nodular, conforme mostrado abaixo na figura 13. A amostra foi submetida ao ensaio metalográfico a fim de possibilitar a transparência de sua microestrutura. Para a execução de tal preparação (ensaio) foram necessárias quatro etapas, sendo elas: corte, lixamento, polimento e ataque químico.

**Figura 13** - Amostra utilizada



**Fonte:** Arquivo pessoal

2227

Na etapa inicial, o corte da amostra foi realizado com o auxílio de uma máquina policorte metalográfica, com seu disco de corte específico, conforme mostra a Figura 02. O corte foi efetuado lentamente para evitar que ocorresse escoriação na superfície da peça.

Em seguida, iniciou-se o processo de lixamento, operação que tem por objetivo eliminar riscos e marcas mais profundas da superfície geradas no processo de corte. Nesta etapa, foram comparados dois processos de lixamento: automático e manual (úmido), sendo analisado o processo manual que consiste em lixar a amostra sucessivamente com lixas de granulometria cada vez menores, mudando-se a angulação da peça até desaparecerem os traços da lixa anterior. Foram utilizadas as lixas 220, 320, 400, 600 e 1200 respectivamente.

Alguns cuidados devem ser destacados para que ocorra um lixamento eficaz, como: a superfície deve estar rigorosamente limpa, isenta de líquidos e graxas que possam provocar reações químicas na superfície; os riscos profundos que surgirem durante o lixamento devem ser eliminados por novo processo de lixamento, pois de acordo com a natureza da amostra, a pressão de trabalho e a velocidade de lixamento podem gerar deformações plásticas em toda a superfície como o abaulamento.



**Figura 14 - Lixamento**

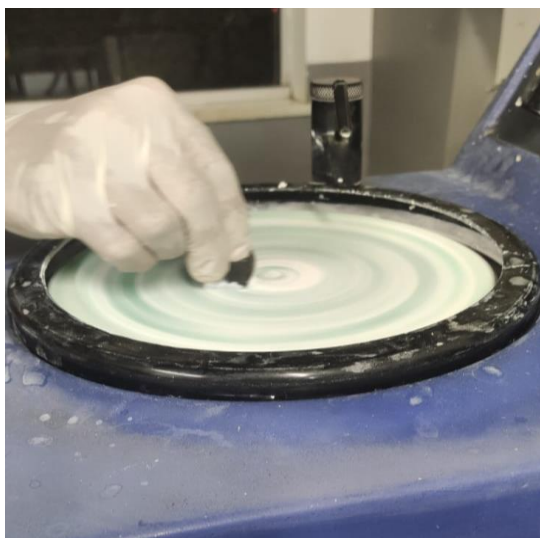


**Fonte:** Arquivo pessoal.

Após o processo de lixamento, realizou-se o polimento (figura 15) para retirar o mínimo de camada danificada. O polimento mecânico se utiliza de politrizes elétricas circulares. Os discos ou pratos empregados no polimento são fabricados de alumínio, aço inoxidável ou material plástico resistente. Os discos variam em diâmetro de 6" a 12" e têm uma superfície retificada. Essas placas são montadas em eixos cônicos, permitindo as vantagens de rotação livre e substituição rápida sem ferramentas. O processo para o polimento foi efetuado utilizando uma velocidade de 150 a 600 rpm usando alumina  $0,3\mu\text{c}$ , passando para a alumina  $1\mu\text{c}$ . A amostra deve ficar girando em sentido contrário à rotação do prato da politriz, para evitar que ocorra defeitos devido à pressão excessiva ou polimento unidirecional.

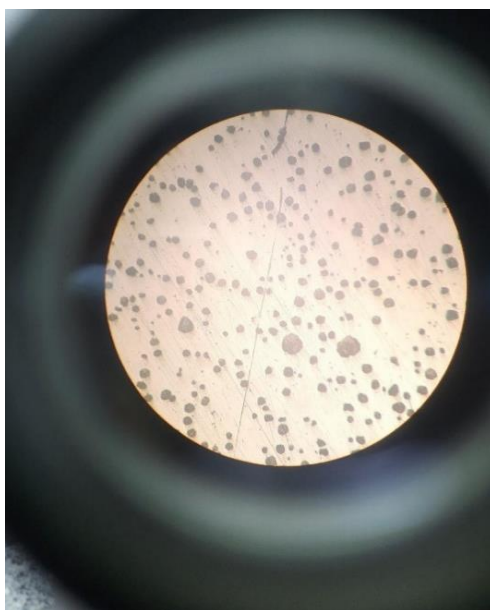
2228

**Figura 15 - Polimento da amostra**



**Fonte:** Arquivo pessoal.

**Figura 16** - Peça polida antes do ataque químico



Fonte: Arquivo pessoal.

Em seguida, a amostra sofreu o processo de ataque químico da superfície com uso de sol. nital 5% que foi despejado em uma pequena cuba de vidro, cujo a amostra foi imersa na solução. Deve-se atentar para não permitir o contato da amostra com o fundo da cuba. O corpo de prova, durante o período de imersão na solução reagente, deverá sofrer pequena movimentação rotativa para evitar a formação de bolsas de ar, acarretando a ocorrência de áreas não atacadas. A duração ocorreu de cerca de 35 a 40 segundos. Por fim, a amostra foi lavada em água corrente com um chumaço de algodão e secada para sua análise em microscópio.

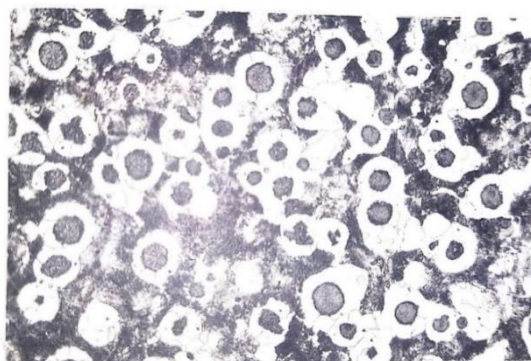
2229

## RESULTADO E DISCUSSÕES

O ferro fundido nodular é considerado um avanço na área metalúrgica, sendo, muitas vezes, um substituto do aço, em especial nas indústrias metalúrgicas. Esse material por ser capaz de reciclar a matéria prima é uma alternativa sustentável para desenvolver equipamentos de forma a contribuir de maneira socioeconômica para o mundo.

O método de classificação da grafita foi determinado por quadros (Imagens) comparativos, avaliando a morfologia, distribuição e o tamanho das grafitas. A imagem abaixo é um comparativo para a classificação da grafita do ferro fundido nodular obtido no ensaio.

**Figura 17:** Imagem comparativa com 55% de perlita.

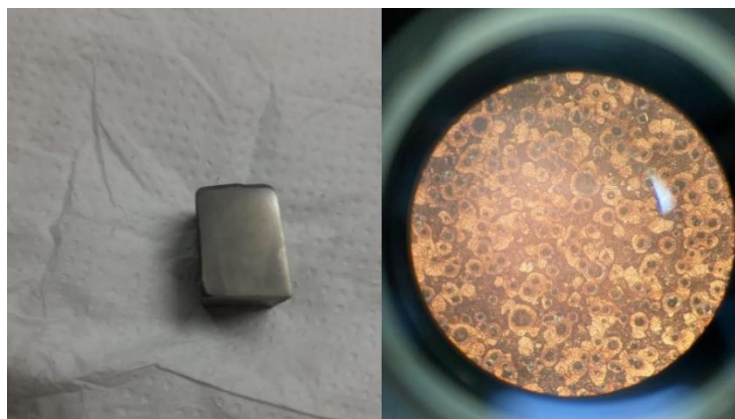


**Fonte:** Metalurgia dos ferros fundidos nodulares,1989.

Como resultado se obteve um material com 55% de perlita e 45% de ferrita conforme mostra a imagem microscópica (figura 18) representando uma análise metalográfica de ferro fundido nodular, cujo material após ataque químico com Nital (5% de ácido nítrico e 95% de álcool) evidenciou os nódulos de grafita numa matriz metálica. A maior proporção de perlita é corroborada com a cor escurecida da amostra e faz concordância com o fato de a amostra ter sido obtida de uma catraca de freio de caminhão, necessitando de maior resistência à tração e ductilidade, além de maior resistência ao escoamento, características presentes no ferro fundido nodular. A presença das esferas ou nódulos de grafite mantém as características de boa usinabilidade e uma razoável estabilidade dimensional. Como a peça utilizada sofre muito impacto, deve-se tomar cuidado com o efeito do silício (Si) como elemento de liga, pois com o aumento do silício gera uma diminuição da resistência ao impacto e do limite de resistência se o carbono for mantido constante, assim não sendo viável sua contribuição para o material devido sua utilização na área automobilística.

2230

**Figura 18:** Resultado macroscópico e microscópico respectivamente.



**Fonte:** Arquivo pessoal.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ferro fundido com grafita esferoidal percorreu, ao longo dos anos, por todas as etapas de uma análise metalográfica, passando a ser conhecido como ferro fundido nodular, destacando-se nas indústrias automobilísticas. Nesse sentido, o ferro fundido nodular, possui aplicações em variados âmbitos da engenharia. Assim, para executar a sua função é necessário utilizar um tratamento térmico e microestruturas adequados para que exerça suas propriedades mecânicas de forma eficiente.

Na indústria para determinar a composição do material é feita uma comparação da metalografia e literatura. Assim, com esse intuito, o produto final obtido foi uma matriz perlítica-ferrítica composta por 55% de perlita e 45% de nódulos de ferrita. Desse modo, o material resultante possui como característica a alta resistência a tração e ductilidade, além de maior resistência ao escoamento, garantindo sua eficácia durante a utilização.

Por isso, em razão do sistema de freio de caminhões necessitar de um sistema com alta resistência, o ferro fundido nodular se faz necessário na fabricação de catracas para freio, tornando-o mais seguro.

2231

## REFERÊNCIAS

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**, 7ª edição, São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 2002.

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

SOUZA SANTOS, A B; CASTELLO BRANCO, C H. **Metalurgia dos ferros fundidos cinzentos e nodulares**, São Paulo, IPT, 1989.