


Análise comparativa entre o ferro fundido comercial novo e o refundido em empresa artesanal com aplicação em tambores de freio

Licurgo Borges Winck ^{1*} 
Gabriel dos Santos Camargo ¹
Sergio Junio Martins Rodrigues ¹
Thais Neves Silva ¹

Resumo

Este artigo tem como objetivo realizar a análise comparativa de dureza e microestrutural do material de dois tambores de freio construídos em ferro fundido cinzento, sendo um com suas características iniciais de fábrica sem qualquer tipo de alteração e outro usado e refundido em processo artesanal, com o histórico de uso desconhecido. A partir daí, tornou-se possível verificar se o processo primitivo de refusão em areia provocou mudanças nas propriedades mecânica e microestrutural quando comparado com as propriedades iniciais do material de fábrica. Com a obtenção dos resultados, verificou-se que há a possibilidade do reaproveitamento da matéria prima de ferro fundido, porém não para a mesma aplicação. Sobre os dois materiais foram realizadas as seguintes análises: Metalografia com microscópio óptico e análise de dureza *Rockwell*. Baseado nos resultados observou-se que torna-se improvável a utilização do tambor de freio refundido para a mesma aplicação, pois houve aumento nos precipitados de grafita, influenciando diretamente na dureza do material em 13,26% de aumento em relação ao material novo, ocasionado principalmente devido ao processo de fundição artesanal não possuir controle na taxa de resfriamento.

Palavras-chave: Ferro fundido; Fundição; Dureza *rockwell*; Metalografia.

Comparative analysis between new and remelted commercial cast iron in a craft company with application in brake drums

Abstract

This article aims to perform a comparative analysis of hardness and microstructural material of two brake drums made of gray cast iron, one with its initial factory characteristics without any type of alteration and the other used and re-melted in an artisanal process, with the unknown usage history. From there, it became possible to verify whether the primitive sand remelting process caused changes in the mechanical and microstructural properties when compared to the initial properties of the factory material. With the results obtained, it was found that there is the possibility of reusing the raw material of cast iron, but not for the same application. The following analyzes were performed on both materials: metallography with an optical microscope and Rockwell hardness analysis. Based on the results it was observed that it is unlikely to use the re-cast brake drum for the same application, since there was an increase in the graphite precipitates, directly influencing the hardness of the material by 13.26% increase in relation to the new material, caused mainly due to the artisanal casting process has no control over the cooling rate.

Keywords: Cast iron; Casting; Rockwell hardness; Metallography.

1 Introdução

As peças que são objeto de estudo deste artigo, os tambores de freio, possuem uma das principais funções do sistema: Dissipação do calor gerado durante a frenagem [1].

Neste aspecto, é importante ressaltar que a competitividade das organizações no mercado depende do acompanhamento das transformações e evoluções que ocorrem no mundo

¹Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, Anápolis, GO, Brasil.

*Autor correspondente: licurgo2006@gmail.com



cada vez mais integrado e globalizado [2], justificando, desta forma, a realização de uma investigação e a busca de um aspecto técnico e científico para verificar algumas propriedades e características do material refundido em uma empresa artesanal e a partir daí, verificar as possíveis aplicações deste material reaproveitado.

O objetivo do trabalho então, foi comparar as propriedades mecânicas e microestruturais dos tambores de freio novo e refundido utilizando a metalografia e ensaio de dureza Rockwell, antes e após o processo de refusão. A microscopia ótica utilizada para análise metalográfica qualitativa de comparação das amostras se baseia na técnica de observação de microestruturas dos aços e ferros fundidos [3]. O ensaio metalográfico visa relacionar a estrutura inerente de um material com as suas propriedades físicas e mecânicas, bem como com o seu desempenho [4]. Desta forma, para isso serão realizadas as seguintes etapas: a) uma breve revisão bibliográfica apresentando os ferros fundidos utilizados em tambores de freio; b) o processo primitivo de fundição do material em empresa artesanal; c) análise da dureza dos materiais antes e após a fundição; d) metalografia através de microscopia ótica; e) apresentação e discussão dos resultados e por fim as conclusões.

2 Ferros fundidos utilizados em tambores de freio

O tambor de freio é um componente muito importante utilizado no sistema de frenagem, oportunamente inventado em 1902 pelo francês Louis Renault. Juntamente com as lonas de freio, formam o par tribológico que possui a função de gerar o atrito a partir da compressão no ato da frenagem [5].

O tambor de freio deve ter a capacidade de resistir à fadiga termomecânica, proveniente da sua aplicação a partir do uso cíclico nas mais variadas condições. Além disso, deve apresentar uma boa resistência mecânica, ser de fácil fundição e usinagem, buscando-se também um custo aceitável. Desta forma, o tambor de freio deve apresentar as seguintes características [6]:

- a) Resistência mecânica: o tambor de freio recebe as forças mecânicas de frenagem e converte a energia cinética do veículo em calor. A combinação entre as forças de frenagens e energia térmica dissipada induzem ao tambor altas tensões térmicas que produzem deformações que devem ser suportadas durante a vida útil do tambor;
- b) Resistência ao desgaste: durante o processo de frenagem o tambor deve resistir aos fenômenos de desgaste gerados pelo contato abrasivo das lonas de freio. Deve apresentar uma durabilidade mínima mesmo quando submetido à alta temperatura e alta velocidade;
- c) Usinabilidade: depois de fundidos, os tambores recebem processos de usinagem para acabamentos

e ajustes necessários. Desta forma, o material deve apresentar características que facilitem este processo com a finalidade de aumentar a produtividade aliado a baixo custo de produção;

- d) Capacidade de amortecimento: o material do tambor deve ter a capacidade de absorver as vibrações decorrentes das variações de tensões internas, característica que está associada à propagação ou não de ruído de freio [6].

Dois tipos de ferro fundidos apresentam tais características, e são utilizados na fabricação dos tambores de freio. O Ferro Fundido Cinzento e Ferro Fundido Vermicular [7].

O ferro fundido pode ser definido como uma liga de ferro com teor de carbono acima de 2,0% (Fe-C). Neste tipo de material, normalmente existe a presença do silício com teores superior ao do próprio carbono, podendo, desta forma, ser considerada uma liga ternária ferro, carbono e silício (Fe-C-Si).

O ferro fundido se caracteriza por apresentar carbono livre na forma de veios ou lamelas de grafita [8], sendo que os de baixo e médio teor de carbono apresentam boa resistência mecânica. Os de alto teor de carbono apresentam maior condutividade térmica e são classificados da seguinte maneira:

- a) Ferro Fundido Cinzento: possui grande quantidade de carbono livre formando veios ou lamelas de grafita e o restante no estado combinado Fe_3C ;
- b) Ferro Fundido Vermicular: apresenta grafita na forma de vermes, conferindo propriedades mecânicas intermediárias entre o ferro fundido cinzento e o ferro fundido nodular.

A grafita constituinte nos ferros fundidos pode ser classificada quanto ao aspecto de forma ou morfologia e quanto ao tamanho que se apresentam na microestrutura. Quanto à forma são divididas em cinco tipos [8]:

- a) veios de grafita tipo A: Irregular e desorientada;
- b) veios de grafita tipo B: Forma de roseta;
- c) veios de grafita tipo C: Desigual e irregular;
- d) veios de grafita tipo D: Interdentritica desorientada;
- e) veios de grafita tipo E: Interdentritica orientada.

Dessa forma, o ferro fundido cinzento e suas ligas, por apresentar as características que suprem as necessidades da aplicação, são os mais utilizados para a confecção de tambores de freio [9].

A principal característica do ferro fundido cinzento é a alta condutividade térmica por apresentar uma estrutura contínua de grafita lamelar, como observado na Figura 1, dissipando o calor com maior eficiência [5]. Verifica-se também que a grande maioria dos tambores de freio apresenta grafita do tipo A ou B com matriz perlítica [8].

Dentre os ferros fundidos, o cinzento é a liga mais utilizada devido as suas características de: Fácil fusão e moldagem; excelente usinabilidade; boa resistência ao desgaste e boa resistência mecânica. Na Tabela 1 verifica-se a composição química básica deste material [8]:

O ferro fundido cinzento tem ductilidade quase desprezível devido a presença das lamelas de grafita. Por outro lado, tem a capacidade excelente de absorver energia de vibração. Em termos de engenharia, sua capacidade de amortecimento é alta, o que permite a este tipo de metal largas aplicações [11].

O ferro fundido vermicular, observado na Figura 2, também é conhecido como CGI (*Compacted Graphite Iron*, da literatura Inglesa) [12] e pode ser chamado de ferro fundido de grafita compactada ou semi-ondular, sendo um material que possui a adição de uma terra rara como elemento de liga. A presença de titânio reduz a formação de grafita esferoidal, produzindo um material intermediário entre o ferro fundido cinzento e ferro fundido nodular. Possui a facilidade de fundição do ferro fundido cinzento com melhor resistência mecânica e alguma ductibilidade [13].

Como citado, este material é caracterizado pela adição de titânio na composição do ferro fundido nodular, com a finalidade de degenerar o nódulo de grafita [8]. O ferro fundido vermicular possui a grafita com formato intermediário entre o ferro fundido cinzento e o nodular e dessa forma propriedades mecânicas também intermediárias entre os dois [8] [14]: Boa resistência ao desgaste, boa resistência mecânica e à fadiga, boa condutividade térmica e homogeneidade de propriedades. Desta forma, estas características elevam esse material a um forte candidato a substituto do ferro fundido cinzento [15].

3 Metodologia

3.1 Materiais

Para a execução deste trabalho foram selecionados dois tambores de freios comerciais, sendo um novo e outro usado, conforme apresentado na Figura 3. O tambor de freio que foi utilizado possui diâmetro e número de furos respectivamente de 24x8. A Tabela 2 apresenta as dimensões dos tambores de freio de acordo com o catálogo do fabricante.

Para a fabricação dos corpos de prova do tambor de freio novo foi aplicado o processo de usinagem e fresagem, respeitando todos os parâmetros de corte para não causar nenhum tipo de alteração nas características estruturais e mecânica dos materiais. Os dez corpos de prova foram usinados em seções quadradas com dimensões de 10x20 mm. Para os ensaios de dureza foram fabricadas dez amostras de seções circulares com dimensões de 30 milímetros de diâmetro com 12 milímetros de espessura, conforme apresentado na Figura 4.

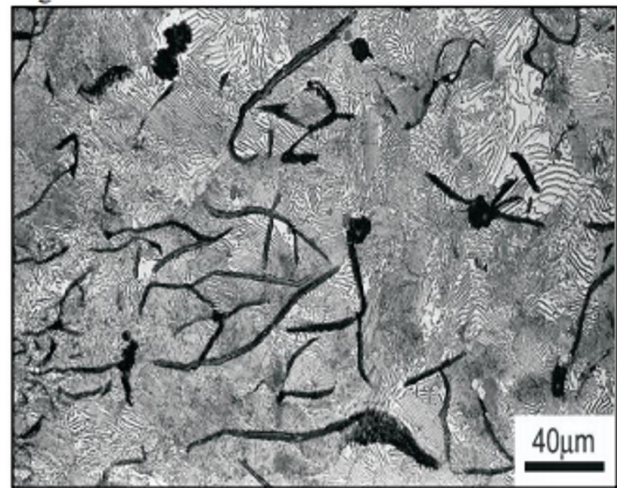


Figura 1. Microestrutura do ferro fundido cinzento. Fonte: Maluf et al. [10]. Imagem reproduzida com autorização do autor.

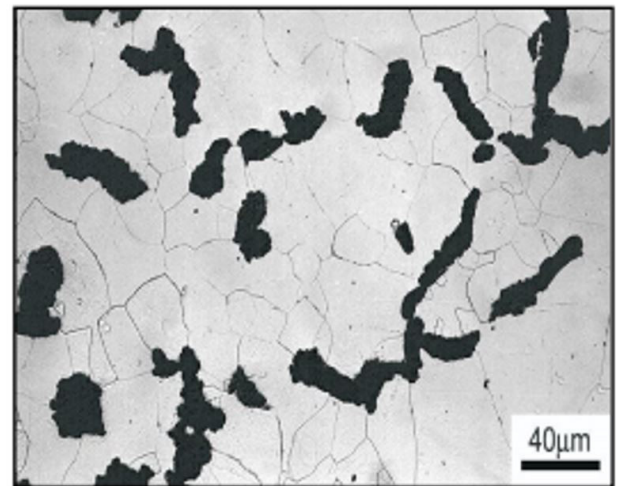


Figura 2. Microestrutura do ferro fundido vermicular. Fonte: Maluf et al. [10]. Imagem reproduzida com autorização do autor.



Figura 3. Tambores de freio: (a) novo; (b) usado.

Tabela 1. Composição química do ferro fundido

Composição Química				
%C	%Si	%Mn	%S	%P
2,00-4,00	1,00-3,00	0,3-1,00	0,10-1,00	0,05-0,25

Fonte: Chiaverini [8].

Tabela 2. Dimensões dos tambores de freio

Dimensões	Medidas (mm)
Diâmetro do rolamento externo	419,50
Diâmetro do rolamento interno	157,00
Diâmetro do encaixe do tambor de freio	230,00
Centro a centro entre furos	275,00
Altura total	225,00
Diâmetro e número de furos	24x8

Fonte: Batista Metalurgia [16].

Na empresa artesanal de fundição objeto deste estudo, para a realização do processo primitivo de refusão em areia foi utilizado uma lixadeira de disco horizontal própria a fim de realizar o corte inicial da peça. Após esta etapa, houve o processo de aquecimento do forno à base de óleo queimado, com aproximadamente 200 litros, por trinta minutos, atingindo então uma temperatura de 1450 °C, onde iniciou-se a partir daí o processo de fundição do ferro fundido do tambor de freio usado.

Após a liquefação de todo o material, foi transferido então para um cadinho, recipiente utilizado para transporte de metais líquidos, preenchendo, dessa forma, o molde de areia verde. Para manutenção das dimensões desejadas, as amostras ficaram submetidas a um período de resfriamento de dois dias no molde de areia a temperatura ambiente. Da mesma forma que o material novo, como observado na Figura 5 abaixo, foi produzido dez amostras de seções quadradas com espessura e largura de 10x20 mm para a realização das análises microscópicas e dez corpos de prova com seções circulares com espessura e largura de 12x30 mm para os ensaios de dureza.

3.2 Metalografia

O ensaio metalográfico fornece uma ideia aproximada da natureza do material possibilitando a relação da estrutura microscópica com as propriedades físicas e os processos de fabricação. É uma técnica bastante utilizada para controle de qualidade de um produto metalúrgico. Podendo ser macrográfico ou micrográfico [17].

A confiabilidade e a reprodutibilidade de observações e investigações do material a ser analisado dependem muito da preparação adequada da amostra. A preparação de amostras, para as análises de microestrutura dos materiais, segue as seguintes etapas:

- a) Seleção e corte da amostra;
- b) Embutimento;
- c) Lixamento ou pré-polimento;

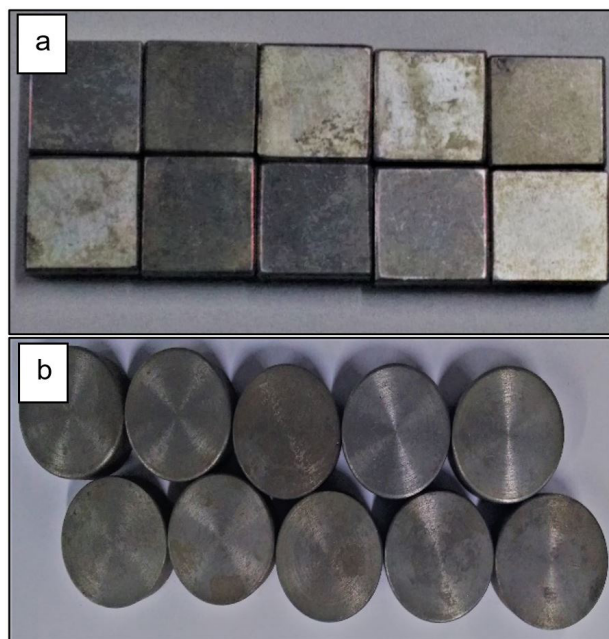


Figura 4. Amostras para as análises referente ao tambor novo. (a) amostras para microscopia; (b) amostras para ensaio de dureza.

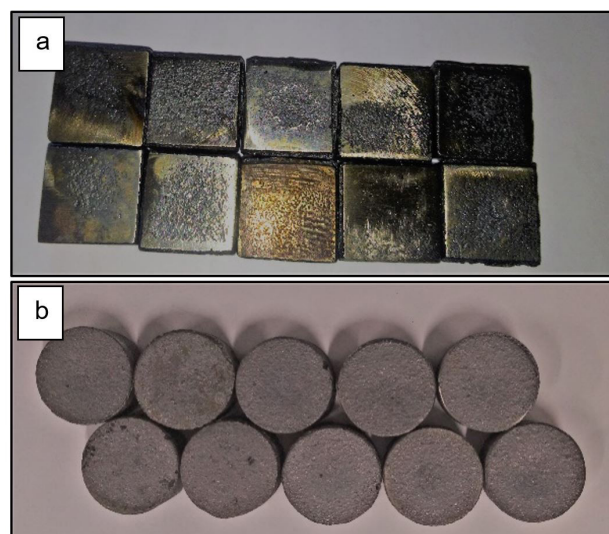


Figura 5. Amostras para as análises referente ao tambor usado. (a) amostras para microscopia; (b) amostras para ensaio de dureza.

- d) Polimento;
- e) Ataque químico da superfície;

Um ensaio é denominado macrográfico quando o material é ampliado até cinquenta vezes (50x), fornecendo uma breve ideia da homogeneidade e distribuição de falhas como trincas, qualidade de solda e profundidade de tratamentos térmicos. Já o ensaio micrográfico com auxílio do microscópio possibilita a observação mais detalhada da microestrutura do material onde podem ser distinguidas as fases presentes, determinar os tamanhos, formas e quantidade de grãos, o teor aproximado de carbono, distribuição dos diversos constituintes, falhas e inclusões no material [4].

Para a preparação das amostras foi utilizado duas politrizes da marca Pantec, modelo Polipan 2D com dois pratos e seis tipos de lixas d'água da marca 3M, com as seguintes granulometrias: 240, 320, 400, 600, 1200 e 2500. Finalizado o lixamento, foi executado o polimento com alumina a uma rotação de 600 RPM até se alcançar uma superfície completamente espelhada.

Todas as etapas de preparação são importantes, porém, para o ataque químico das amostras são necessários alguns cuidados quanto à solução e os reagentes a serem utilizados. Para cada tipo de material existe um reagente específico. Para aços e ferros fundidos, é utilizado o reagente Nital 3% para análise da microestrutura [18].

Dessa forma, foi utilizado então Nital concentrado em 3% e posteriormente higienizado com álcool hospitalar. Com a região a ser analisada totalmente limpa, foi possível realizar a análise micrográfica da superfície atacada quimicamente utilizando microscópio metalográfico invertido opton TNM-07T-PL e um microcomputador com o software ScopePhoto 3.0. O ataque químico e a micrografia foram realizados igualmente em todos os corpos de prova.

3.3 Ensaios de dureza

A resistência que um material apresenta ao risco ou a penetração é chamada de dureza. A determinação de dureza nos metais atribui-se a um método rápido e não destrutivo [19]. Normalmente para a realização do ensaio de dureza, utiliza-se um penetrador na forma de esfera, pirâmide ou tronco de cone, produzido de metal duro, temperado ou diamante. A partir de uma determinada carga no penetrador sobre o material de estudo, observa-se uma deformação que acarreta o aparecimento de impressões superficiais no material e a partir dessas dimensões se determina os valores representativos de dureza [19].

O ensaio de dureza Rockwell é o processo mais utilizado, devido sua facilidade de execução, rapidez e habilidade de distinguir pequenas diferenças em aços temperados e ainda possuir a capacidade de realizar ensaios em peças acabadas e prontas sem causar danos consideráveis na superfície [20]. Possui o mesmo princípio do método Brinell, que consiste em penetrar lentamente a superfície do material com uma esfera de aço endurecida ou metal duro sob a ação de uma força, porém o valor de dureza passa a ser proporcional a profundidade de penetração e não mais a relação entre a carga aplicada e área de impressão obtida [19].

Dessa forma, o ensaio Rockwell então, consiste na aplicação de uma pré-carga para garantir o contato firme entre o penetrador e o corpo ensaiado para, posteriormente, aplicar a carga propriamente dita. A medida linear que quantifica o resultado da dureza Rockwell é a diferença de profundidade causada pela ação dessas duas cargas [21].

Neste contexto, para o ensaio de dureza foi utilizado um durômetro, da marca Mitutoyo modelo HR 300. A medição foi realizada através da aplicação de cargas normais perpendiculares as faces polidas em cinco pontos

adotados por convenção: Inicialmente no centro de massa do material enumerado como ponto 01; em seguida na parte esquerda e direita enumerado respectivamente como pontos 02 e 03, e por fim, na partes superiores e inferiores enumerados como pontos 04 e 05, conforme observa-se na Figura 6. As medições foram realizadas cumprindo todas as instruções da tabela de ensaios de Rockwell apresentados pela ISO 6508-2, ABNT NBR NM ISO 6508-2 e ASTM E-18, utilizando a escala "E" com um penetrador de esfera 1/8" com uma pré-carga de 10 Kgf, seguida de uma carga de 100 Kgf, observando todos os padrões de ensaio de dureza especificados por essas normas e sendo repetido em todas as amostras.

4 Resultados e discussões

4.1 Ensaios de dureza

As amostras circulares dos tambores de freio para o ensaio de dureza foram nomeadas da seguinte forma:

AN: Amostra Nova

AU: Amostra Usada

A Tabela 3 apresenta os valores de dureza dos cinco pontos medidos nas amostras do tambor na condição de novo.

A Figura 7 apresenta o gráfico com a compilação dos resultados dos valores de dureza dos cinco pontos medidos nas amostras novas do tambor de freio.

A Tabela 4 e a Figura 8 apresentam os valores de dureza dos cinco pontos medidos das amostras do tambor usado na condição usado com casca.

As amostras usadas possuíam uma camada significativa de crosta fundida, podendo vir a interferir nos ensaios de dureza. Desta forma, fez-se necessário utilizar o torno mecânico para a retirada da casca de cada amostra. Foi dado um passo superficial utilizando o bedame de corte em 90 graus a uma velocidade de avanço de 0,053 mm/s. Feito o processo nas dez peças circulares

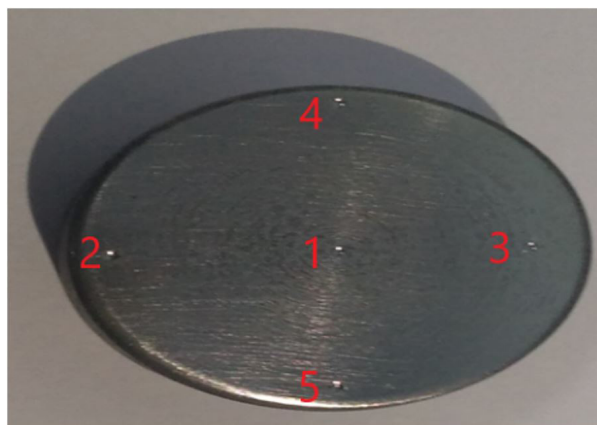


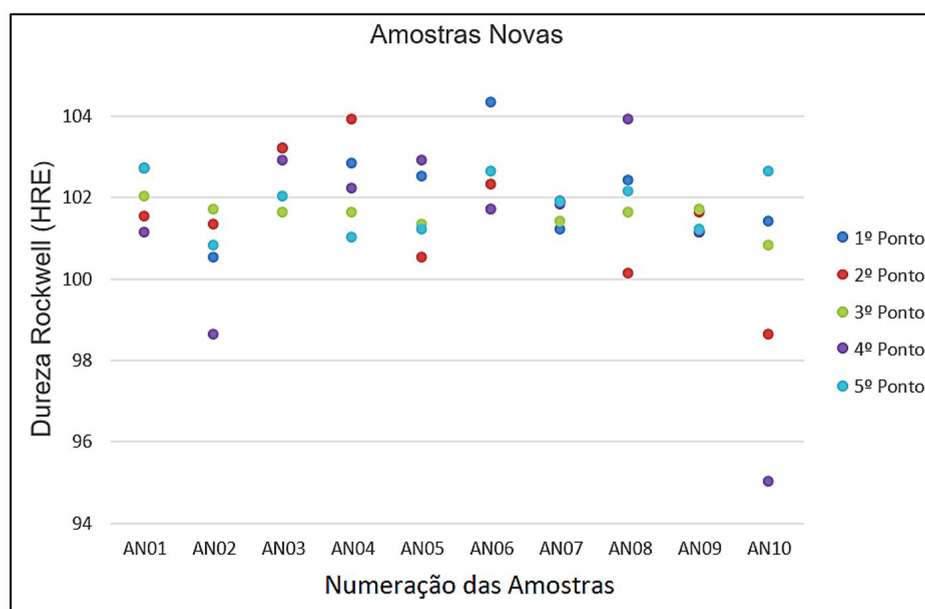
Figura 6. Pontos para o ensaio de dureza.

Tabela 3. Medidas de dureza das amostras circulares novas

Amostras	Dureza Rockwell E					Média
	1º Ponto	2º Ponto	3º Ponto	4º Ponto	5º Ponto	
AN01	102,7	101,5	102,0	101,1	102,7	102,0
AN02	100,5	101,3	101,7	98,6	100,8	100,58
AN03	103,2	103,2	101,6	102,9	102,0	102,58
AN04	102,8	103,9	101,6	102,2	101,0	102,3
AN05	102,5	100,5	101,3	102,9	101,2	101,68
AN06	104,3	102,3	101,7	101,7	102,6	102,52
AN07	101,2	101,9	101,4	101,8	101,9	101,64
AN08	102,4	100,1	101,6	103,9	102,1	102,02
AN09	101,1	101,6	101,7	101,1	101,2	101,34
AN10	101,4	98,6	100,8	95,0	102,6	99,68

Tabela 4. Medidas de dureza das amostras circulares com casca

Amostras	Dureza Rockwell E					Média
	1º Ponto	2º Ponto	3º Ponto	4º Ponto	5º Ponto	
AU01	115,6	110,6	120,9	119,3	116,9	116,66
AU02	114,9	115,4	114,4	116,7	121,6	116,6
AU03	105,0	120,5	114,4	122,6	122,0	116,9
AU04	113,5	120,9	120,7	115,6	120,0	118,14
AU05	99,0	118,5	95,8	118,3	118,9	110,1
AU06	116,9	116,8	118,6	116,8	120,3	117,88
AU07	113,2	112,6	108,7	114,7	120,3	113,9
AU08	114,0	112,5	112,4	116,4	122,4	115,54
AU09	101,6	119,1	105,7	122,6	118,9	113,58
AU10	114,9	120,3	97,1	113,8	118,7	112,96

**Figura 7.** Distribuição dos valores de dureza das amostras novas.

usadas foi necessário utilizar uma lixa de 240 mesh para dar um melhor acabamento superficial nas peças. Após finalizar o processo de lixamento foi feito o ensaio de dureza nas amostras. A Tabela 5 e a Figura 9 apresentam os valores de dureza dos cinco pontos medidos das amostras do tambor na condição usado após o processo de desgaste e lixamento.

Através da média obtida em cada um dos cinco pontos das respectivas amostras foi realizada uma distribuição média, de acordo com a Figura 10.

Baseando-se nas referências teórica das normas ISO 6508-2, ABNT NBR NM ISO 6508-2 e ASTM E-18 observou-se resultados esperados dentro dos padrões especificados para este material, que por determinação de

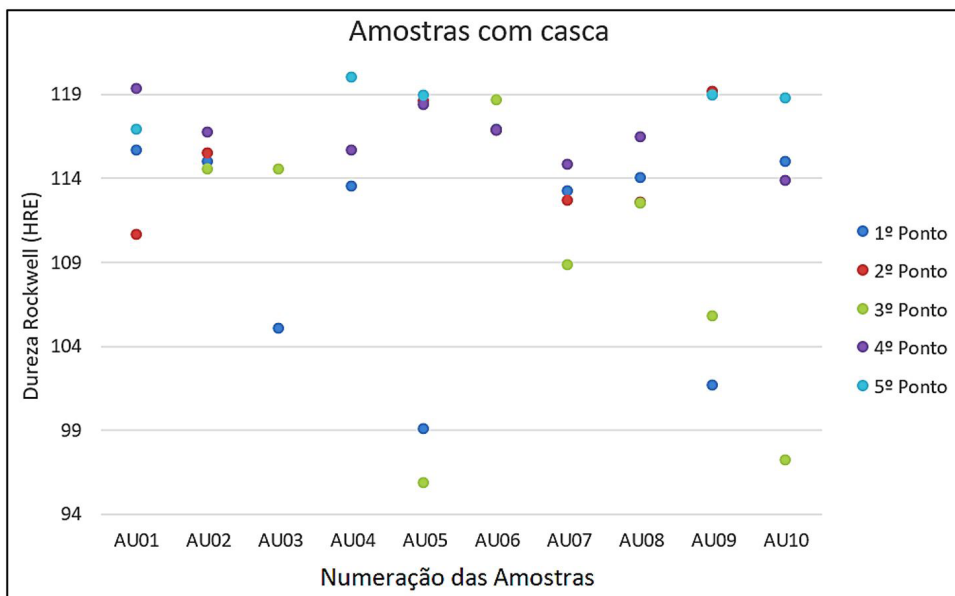


Figura 8. Distribuição dos valores de dureza das amostras com casca.

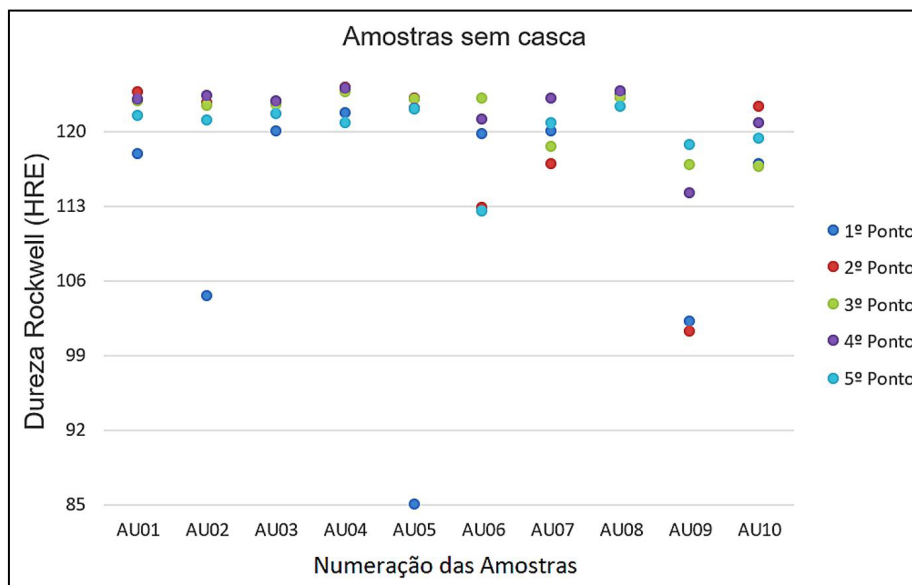


Figura 9. Distribuição dos valores de dureza das amostras sem casca.

Tabela 5. Medidas de dureza das amostras circulares após desbaste

Amostras	Dureza Rockwell E					Média
	1º Ponto	2º Ponto	3º Ponto	4º Ponto	5º Ponto	
AU01	117,8	123,6	122,8	122,9	121,4	121,7
AU02	104,5	122,6	122,3	123,2	121,0	118,72
AU03	120,0	122,7	122,4	122,8	121,5	121,88
AU04	121,7	124,0	123,6	123,9	120,8	122,8
AU05	110,0	123,0	122,9	122,1	122,0	115,0
AU06	119,7	112,8	123,0	121,1	112,4	117,8
AU07	119,9	116,9	118,5	123,0	120,7	119,8
AU08	123,4	123,1	123,1	123,7	122,2	123,1
AU09	102,1	101,2	116,8	114,1	118,7	110,58
AU10	116,9	122,2	116,6	120,7	119,3	119,14

ensaios já existentes, as amostras do tambor novo obtiveram dureza média de aproximadamente 102 HRE.

O processo de fundição do tambor velho feito através do molde em areia verde resultou em uma dureza elevada acima dos padrões da norma, resultando em uma média de 118 HRE, obtendo um aumento significativo de 13,26% em relação ao tambor novo, ocasionado principalmente devido ao processo de fundição artesanal não possuir controle na taxa de resfriamento, sendo resfriados a temperatura ambiente, obtendo-se assim maiores precipitados de grafita e consequentemente influenciando diretamente na dureza do material, pois quanto menores as velocidades de resfriamento, maiores os precipitados de grafita [22,23].

4.2 Ensaio metalográfico

A partir das imagens microscópicas das Figuras 11 e 12, observa-se claramente a forma e a distribuição da grafita nas amostras dos tambores de freio nas condições de novo e usado.

A partir dos resultados apresentados, observa-se que a utilização de processos diferentes para a fundição das novas amostras não só alterou a dureza do material, mas também sua microestrutura. As microestruturas reveladas de ambas as amostras apresentaram muita diferença entre si. Analisando as amostras do tambor de freio novo (Figura 11), observa-se claramente uma estrutura de ferro fundido cinzento com veios de grafita tipo A: Irregular e desorientada [8,24], observados também na literatura através da Figura 1 [10], características fundamentais de ferro fundido utilizando uma taxa de resfriamento controlada com maior velocidade [22].

Conforme a Figura 11, referente as amostras do tambor de freio novo, observa-se através da microscopia ótica, que o ferro fundido identificado foi o cinzento baseado na literatura [10,25], observando nas imagens as seguintes estruturas: As fissuras escuras formadas por grafita encerrados dentro de uma matriz de ferrita alfa ou perlita, contudo de acordo com a disposição das lamelas de grafita o ferro fundido foi caracterizado como perlítico por apresentar lamelas mais finas adquirindo assim uma aparência acinzentada. Esse tipo de material possui altas concentrações de tensões não sujeitas

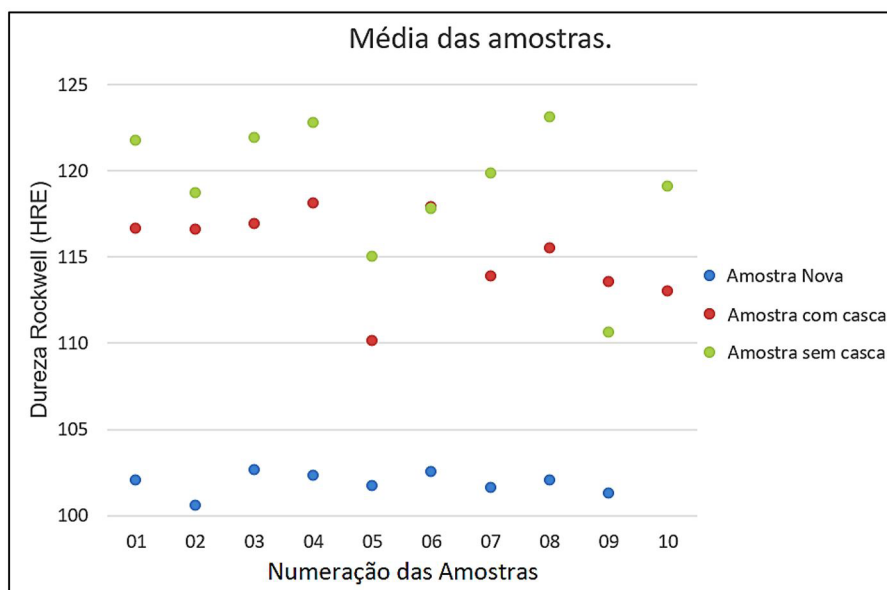


Figura 10. Distribuição dos valores médios de dureza das amostras.

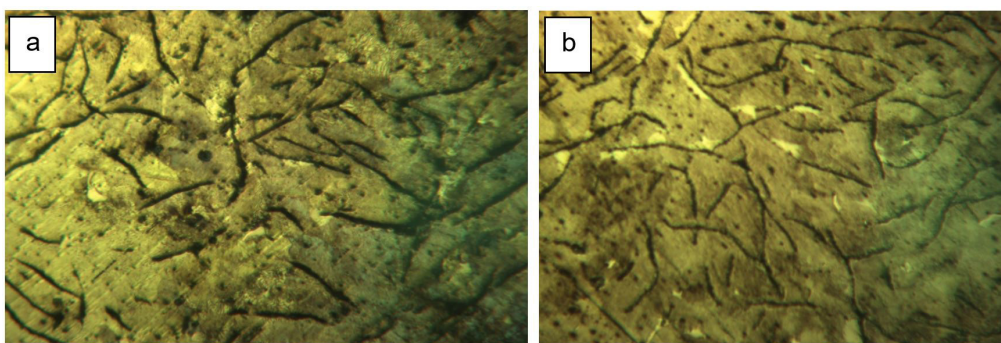


Figura 11. Amostras Novas: (a) aumento de 80x; e (b) aumento de 120x.

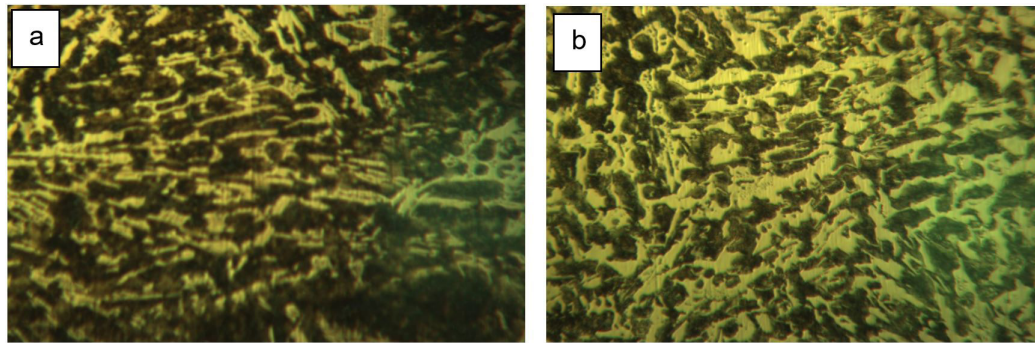


Figura 12. Amostras Usadas: (a) aumento de 80x; e (b) aumento de 120x.

à altas trações. Porém, a resistência a ductilidade é maior sob altas cargas de compressão, propriedade fundamental para aplicação em tambores de freio [2].

Na microestrutura da Figura 12 observou-se maiores precipitados de grafita que ocorreu durante o resfriamento lento da liga, pois a transformação eutética depende desta taxa. Em geral, a austenita irá transformar-se em perlita, ou em ferrita com precipitados de grafita em casos de resfriamentos lentos, pois a velocidade de migração do carbono presente na austenita é baixa [24]. Nestes casos a velocidade de resfriamento da liga determinará a espessura desses precipitados de forma inversa, ou seja, quanto menores as velocidades de resfriamento, maiores os precipitados de grafita [22,23], influenciando diretamente no aumento da dureza do material.

5 Conclusões

Baseando-se na apresentação dos resultados torna-se improvável a utilização do material objeto de estudo para a mesma aplicação, pois o reaproveitamento diminui sua capacidade de resistência a compressão, principal característica para a aplicação em tambores de freio. Todavia, torna-se viável a sua reutilização para fabricação de uma outra gama de produtos em vários segmentos industriais, tais como podemos

citar, automobilísticos, navais entre outros. Na fabricação de barras de ligação, engrenagens de transmissão, cárteres do diferencial, flanges, conexões para tubulações, válvulas, ferrovias e outras áreas como serviços pesados. Outra forma de se conseguir utilizar o tambor de freio velho, para a mesma aplicação seria empregando um método diferente de fundição, visto que através do método de fundição artesanal em areia verde não se alcançou as mesmas características mecânicas e metalográficas, além da adição de elementos de liga, pode se optar por um novo processo de fundição. Um dos processos que se enquadraria para o reaproveitamento da sucata, visando obter as mesmas características do material, seria o processo de fundição centrífuga, podendo-se obter maior precisão na taxa de resfriamento, bem como maior controle das impurezas. Uma outra alternativa coerente seria realizar o revenimento dessas amostras, pois com a elevação da temperatura e o resfriamento sendo controlado, poderia se obter um material mais próximo ao do tambor de freio novo. Através da fundição do tambor de freio usado pelo processo artesanal, além de várias outras aplicações possíveis já apresentadas, uma que poderá obter maior sucesso é a fabricação de peças na qual não há necessidade de grande resistência ao impacto e com maior aproveitamento da elevada dureza, como por exemplo, facas de misturador de cerâmica que possui maior demanda de resistência ao desgaste.

Referências

- 1 Diulgheroglo PA. Fundamentos de freios e seus componentes. São Paulo; 2010. 206 p. Apostila.
- 2 Silva LRC. Caracterização da superfície de frenagem do tambor de freio de veículos comerciais após ensaios em dinamômetro [trabalho de conclusão de curso]. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul; 2013.
- 3 Silva ALVC. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. ed. São Paulo: Blucher; 2008.
- 4 Rohde RA. Metalografia preparação de amostras. Vol. 3. Santo Ângelo: Laboratório de Ensaio Mecânicos e Materiais, Universidade Regional Integrada; 2010.
- 5 Iombriller SF. Análise térmica e dinâmica do sistema de freio a disco de veículos comerciais [tese]. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; 2002.
- 6 Mackin TJ, Noe SC, Ball KJ, Bedell BC, Bim-Merle DP, Bingaman MC, et al. Thermal cracking in disc brakes. *Engineering Failure Analysis*. 2002;9(1):63-76.
- 7 Boniatti DL. Análise do comportamento de fadiga para estruturas submetidas a temperaturas elevadas aliadas a esforços cíclicos [dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2003.
- 8 Chiaverini V. Aços e ferros fundidos. 7. ed. São Paulo: ABM; 2002.

- 9 Brezolin A. Estudo de geração de trincas térmicas em discos de freios de veículos comerciais [tese]. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul; 2007.
- 10 Maluf O, Angeloni M, Gualberto AR, Spinelli D, Bose WW Fo. Discos de freio automotivos: aspectos históricos e tecnológicos. In: International Brake Colloquium e Engineering Display; 2005; Gramado, RS. SAE; 2005.
- 11 Van Vlack LH. Princípios da ciência e tecnologia dos materiais. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus; 1984.
- 12 Guesser W. Ferro fundido com grafita compacta. Revista Metalurgia & Materiais, julho 2002.
- 13 Teles JM. Torneamento de ferro fundido nodular ferritizado com nióbio utilizando ferramentas de metal duro [dissertação]. Itajubá: Curso de Engenharia Mecânica, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá; 2007.
- 14 Callister WD. Ciência e engenharia de materiais. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC; 2002.
- 15 Dawson S, Schroeder T. Practical applications for compacted graphite iron. American Foundry Society Transactions; 2004;112:1-9.
- 16 Batista Metalurgia. Catálogo: tambores de freio. Pará de Minas; 2018 [cited 2018 Dec 14]. Available at: <http://www.batistametalurgia.com.br/imgs/catalogo.pdf>
- 17 Baptista ALB, Soares AR, Nascimento IA. O ensaio metalográfico no controle da qualidade [trabalho técnico industrial metalúrgico]. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense; 2011.
- 18 Dedavid BA, Gomes CI, Machado G. Microscopia eletrônica de varredura aplicações e preparação de amostras. Porto Alegre: Centro de Microscopia Eletrônica e Microanálise, EDIPUCRS; 2007.
- 19 Chiaverini V. Aços-carbono e aços-liga. 2. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais; 1968.
- 20 Marinho AJ. Ensaio mecânicos: dureza. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro; 2009.
- 21 Barbosa VAC. A influência do processo produtivo na qualidade final de pastilhas de freio automotiva [monografia]. Joinville: Curso de Engenharia Automotiva, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina; 2017 [cited 2018 Dec 16]. Available at: <https://repositorio.ufsc.br/>
- 22 Fras E, Górný M, Lópes HF. The transition from gray to white cast iron during solidification: Part II. vol. 36. Experimental verification. Metallurgical and Materials Transactions. A, Physical Metallurgy and Materials Science. 2005;36:3083-3092.
- 23 Ribeiro PJN. Transformação de fase em ferro fundido cinzento de matriz perlítica induzida pelo processo de eletroerosão [trabalho de conclusão de curso]. São Paulo: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo; 2013.
- 24 White CV. Gray iron. In: ASM International. ASM handbook: properties and selection: irons, steels, and high-performance alloys. 10th ed. Materials Park: ASM; 1992.
- 25 Callister WD. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: engenharia de materiais. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC; 2011.

Recebido em: 11 Nov. 2019

Aceito em: 16 Jul. 2020