

AVALIAÇÃO DA USINABILIDADE DO FERRO FUNDIDO CINZENTO SAE J431 G2500 COM ADIÇÃO DE 0,12% DE ENXOFRE

Murilo Waterkemper Mondardo¹

Luiz Carlos de Cesaro Cavaler²

Resumo

O ferro fundido cinzento é um dos materiais mais utilizados no mercado devido a suas características: boa fluidez, facilidade de fabricação, bom para amortecer a energia de vibração e baixo custo. Este estudo tem como objetivo avaliar a usinabilidade do mancal de ferro fundido cinzento G2500 utilizando 0,12% de enxofre em sua composição química. Por meio dos corpos de prova, foram feitos ensaios de dureza Brinell em durômetro Time TH600 e ensaios de tração por meio de uma máquina EMIC modelo DL10000. A análise metalográfica foi realizada utilizando microscópio metalográfico Fortel IM100I, com 100x de aumento. A usinagem foi avaliada através da medição do desgaste de flanco VB_{max} da pastilha. Foi possível observar que o material de estudo apresentou grafitas mais refinadas ajudando na homogeneização da sua dureza. No presente estudo foi percebido que a adição de 0.12% de enxofre teve uma melhora em suas propriedades mecânicas e um ganho de 50% na vida útil da pastilha de corte, na usinagem da pista do rolamento, no qual era a mais crítica na composição anterior.

Palavras-Chave: Ferro Fundido Cinzento; Enxofre; Grafita; Usinagem; Propriedades mecânicas.

1 INTRODUÇÃO

A usinagem é um conjunto de fatores, que abrange desde a característica da ferramenta, equipamento, tipo de operação até as propriedades mecânicas do material. Desta forma modificando as condições de usinagem, o mesmo material poderá ter alterações em sua usinabilidade. Esta, geralmente é determinada ao comparar dois processos de usinagem diferentes em suas características. Assim, determina-se um índice de usinabilidade por meio da comparação e obtém-se alguns dados, tais como: vida da ferramenta entre duas afiações sucessivas, força de usinagem, qualidade da superfície usinada e formação de cavacos, com esses critérios, pode-se definir o custo da usinagem (REBEYKA, 2016).

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. Ano 2021-2. E-mail: murilomondardo@hotmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: luiz.cavaler@satc.edu.br

Com o passar dos anos a tecnologia de usinagem foi se aprimorando, enquanto as empresas buscam cada vez mais espaço no mercado, visando melhorar a relação custo-benefício de seus produtos. Nesse sentido, ao realizar inclusões no Fe-C-Si ocorrem alterações no material que favorecem a usinabilidade. Uma das principais substâncias usadas para inserção de ferro-carbono-silício (Fe-C-Si) é o sulfeto de manganês (MnS), composto químico de manganês e enxofre (PEREIRA, 2005).

De acordo com Mott (2015), o mancal é um elemento mecânico fixo que serve de apoio para eixos girantes. Este, geralmente, é feito de ferro fundido cinzento, o qual possui fácil moldagem, boa resistência ao desgaste e capacidade de amortecimento, (GUESSER, 2009). O processo de usinagem mais utilizado em sua fabricação é o de torneamento. Assim, usinagem por definição é o processo que confere forma a matéria prima (SANTOS E SALES, 2007).

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento de um incremento de 0,12% de enxofre no mancal de ferro fundido cinzento, suas características mecânicas e usinabilidade utilizando o processo de torneamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos seguintes tópicos serão abordados temas relevantes que fazem referência a ferro fundido cinzento e sua usinabilidade.

2.1 FERRO FUNDIDO

O ferro fundido é fabricado a partir do ferro gusa e muito utilizado na metalurgia para fabricação de peças em geral, veículos automobilísticos, máquinas agrícolas e materiais que exigem grandes esforços mecânicos. O que define o tipo de ferro fundido é a aparência da fratura após seu resfriamento, podendo ser: branco, cinzento, maleável ou nodular (GUESSER, 2009).

Segundo Guesser (2009), o ferro fundido cinzento é uma liga Ferro-carbono-silício (Fe-C-Si) com teor de carbono de 2,5 a 4% e possui veio de grafita como característica estrutural, mostrado na Figura 1. Á fácil moldagem, seu ponto de fusão entre 1150 e 1300°C é mais baixo em relação ao aço economizando energia

dos fornos, além de ter boa resistência mecânica e ao desgaste, caracterizam um material economicamente viável. Ainda, o ferro fundido cinzento se mostra eficaz quando se faz necessário amortecer a energia de vibração, sendo um exemplo os equipamentos de alto peso (VAN VLACK, 1984); (GARBELOTTO, 2017).

Figura 1: Micrografia ótica do ferro fundido cinzento.



Fonte: O autor, (2021).

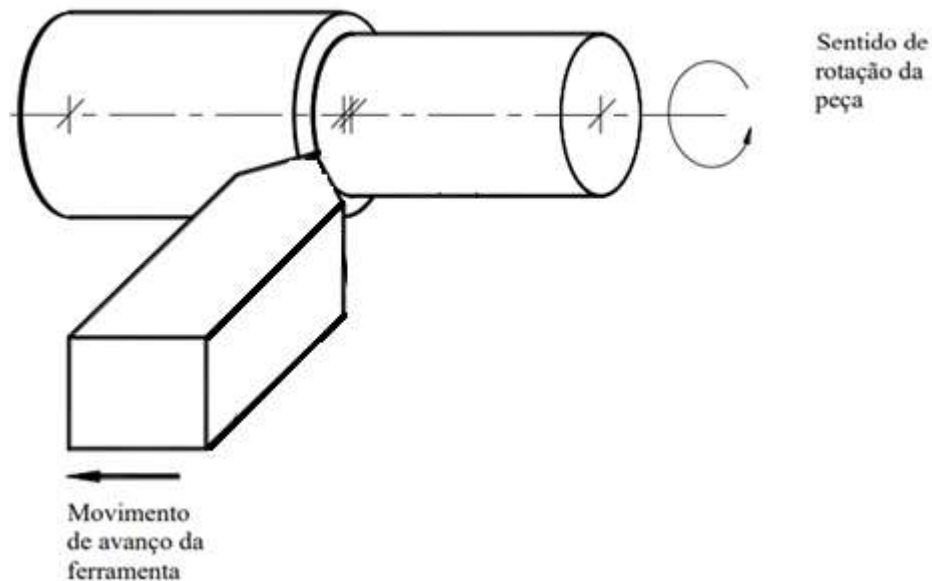
2.2 USINAGEM E TORNEAMENTO

Segundo Ferraresi (2000), usinagem é o processo de gerar forma a matéria prima gerando a remoção de material em forma de cavaco. A usinagem começou a ser utilizada em tempos em que o processo era totalmente manual. Com a evolução da técnica, hoje tem-se máquinas cada vez mais precisas, como o Comando Numérico Computadorizado (CNC).

Torneamento é o processo de usinagem usado para fabricar peças cilíndricas com uma ferramenta de gume único. A figura 2 demonstra os movimentos de corte com o de avanço, o que de fato realiza o corte do material. A peça desenvolve um movimento rotacional, enquanto a ferramenta exerce um deslocamento linear, normalmente executada por um torno. Neste processo pode-se realizar operação de desbaste e acabamento. No desbaste é usado velocidade de corte menor, maior avanço e profundidade de corte. Após esse processo é realizado o de acabamento com foco na qualidade da peça final, como dimensões, tolerâncias métricas e

geométricas e rugosidade. No processo de acabamento, geralmente, utiliza-se maior velocidade de corte, menor avanço e profundidade de corte (DINIZ, 2006).

Figura 2 – Sentido de rotação e avanço do processo de torneamento.



Fonte: Rafael Kratochvil, sd.

O uso adequado dos fluidos de corte no processo de usinagem traz benefícios na produtividade e na qualidade. Segundo Diniz (2006), o fluido de corte tem a função reduzir o atrito entre ferramenta e cavaco, refrigerar a peça com a redução do calor no processo, reduzir o consumo de energia e melhorar o acabamento da superfície usinada. Ou seja, é utilizado para facilitar a operação de corte. O fluido pode ser classificado como: óleo de corte, aquosos, gases, pastas e lubrificantes sólidos.

2.2.1 Parâmetros de corte

Para se obter um melhor desempenho no processo de usinagem dois parâmetros de corte básicos devem ser considerados, a velocidade de corte (v_c) que é definida pela equação 1, e velocidade de avanço (v_f) definida na equação 2. Existem outros parâmetros, tais como: profundidade de corte (a_p), seção de usinagem (A) e força de corte (F_c). Estes são mais complexos tecnicamente, pois dependem do tipo

de operação, tipo de máquina-ferramenta, material a ser usinado, da geometria e do material da ferramenta (DINIZ, 2006).

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m/min] \quad (1)$$

Onde:

v_c = Velocidade de corte (m/min)

D = Diâmetro da peça a ser usinada (mm)

N = Frequência de rotação da peça (min^{-1})

$$V_f = f \cdot n \quad (2)$$

Onde:

v_f = velocidade de avanço (mm/min)

f = avanço por volta (mm/rot)

N = frequência de rotação (rot/min)

A taxa de remoção de material (Q) é utilizado para medir a eficiência da operação de torneamento (AMORIM, 2003)

$$Q = v_c \cdot f \cdot a_p \quad (3)$$

Onde:

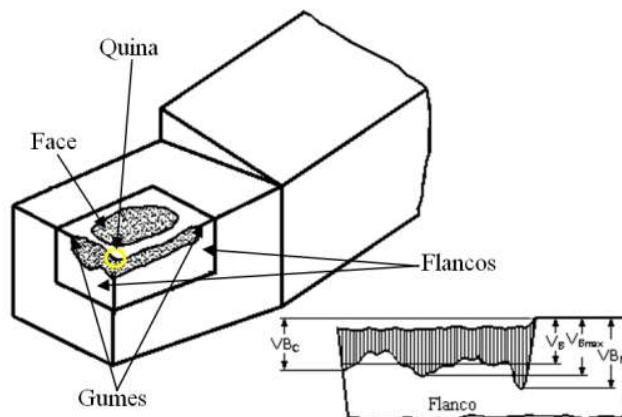
a_p (mm) = profundidade de corte

2.2.2 Ferramenta

Segundo Santos (2008), ferramentas de corte são responsáveis por remover materiais metálicos e não metálicos da peça por desprendimento de cavaco. Possuem uma dureza elevada, o que permite cortar materiais de dureza inferior. Existem dois fatores que influenciam diretamente na sua performance: a dureza dos materiais que são feitas e o ângulo da geometria de corte da ferramenta. Normalmente são fabricados com aço rápido, aço carbono, metal duro, cerâmica e diamante. Para se escolher a ferramenta ideal de corte deve-se levar em conta fatores como: dureza

do material, custo da ferramenta e condições de usinagem, existindo outros parâmetros que podem ser analisados. A ferramenta de corte é basicamente constituída de quina, face, gumes e flancos. O ferro fundido cinzento pertence a categoria K das classes de metais duro, onde os inserts de metais duro e os cerâmicos são ideais para a usinagem (SCHROETER, 2000; DINIZ, 2006)

Figura 3 – Ferramenta de corte para usinagem (Schroeter, 2000).



Fonte: Schroeter, 2000.

2.2.3 Desgaste da ferramenta

O desgaste de flanco (V_B) é um dos principais critérios para determinar o tempo de vida previsível e estável da ferramenta. O desgaste mais comum da pastilha ocorre devido à abrasão, causada por constituintes duros no material da peça, ocasionando desgaste da ferramenta ao longo de seu uso (SCHROETER, 2000).

Ao realizar inclusões no Fe-C-Si ocorrem alterações no material que favorecem a usinabilidade. Uma das principais substâncias usadas para inserção de ferro-carbono-silício (Fe-C-Si) é o sulfeto de manganês (MnS), composto químico de manganês e enxofre (PEREIRA, 2005).

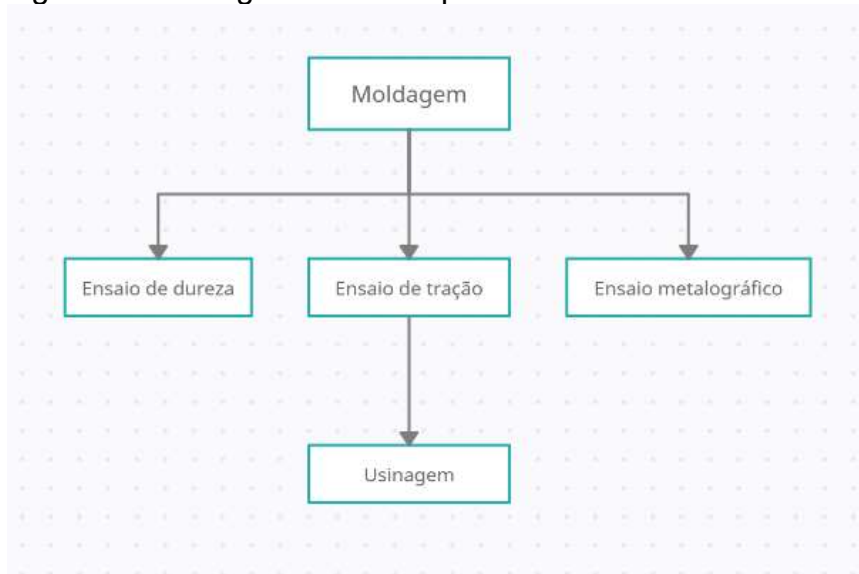
3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Foi analisado o comportamento da usinabilidade do mancal SNH 511N de ferro fundido cinzento de acordo com norma SAE J431/2000 classe G2500, com

adição de 0,12% de enxofre. O material foi produzido e usinado pela empresa Nobre indústria de peças.

Para a realização deste estudo foram seguidas algumas etapas, descritas na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma das etapas.

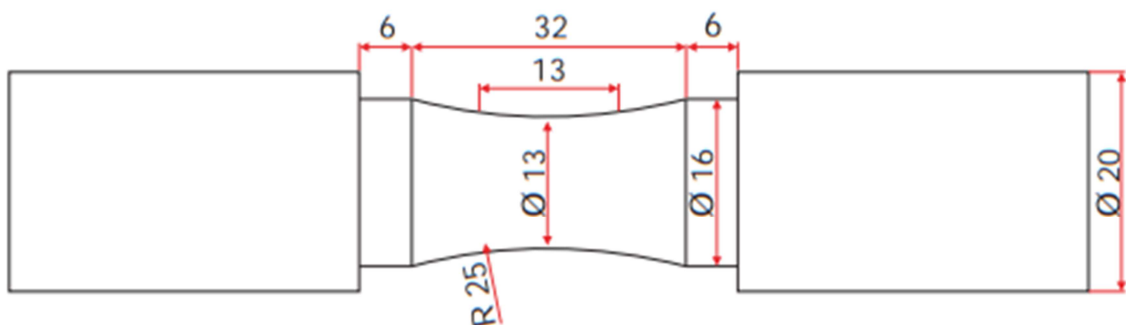


Fonte: O autor, 2021.

3.1 Moldagem

Para a realização do ensaio de tração, dureza e metalografia, foi realizada a moldagem e usinagem de 10 corpos de prova com adição de 0,12% de enxofre no material de ferro fundido cinzento. Os corpos de prova foram moldados no processo cura à frio seguindo a norma ASTM A48/A48M-03 tipo A, de acordo com a Figura 5.

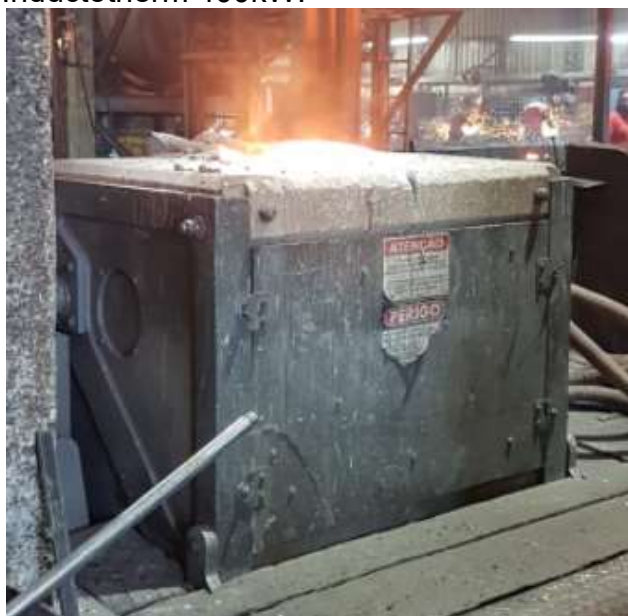
Figura 5 – Corpo de prova



Fonte: O autor, 2021.

A fusão foi realizada por meio de forno elétrico à indução sem núcleo, da marca Inductotherm 400kW, com capacidade 880 kg de metal líquido, mostrado na Figura 6, e a composição do material seguiu a norma SAE J431:2000, de acordo com a Tabela 1 classe G2500. As análises e correções das amostras foram feitas por meio da composição química, pelo espectômetro GNR Metal Lab 75 – 80. A carga fundida foi transferida para a panela, com capacidade de 330 kg e com temperatura de vazamento 1400°C. Este processo se repetiu 3 vezes, sendo: nos dois primeiros retirado 4 corpos de prova cada e no terceiro 2. A Figura 7 demonstra os moldes dos corpos de prova já preenchidos com metal líquido.

Figura 6 – Forno elétrico à indução Inductotherm 400kW.



Fonte: O autor, 2021.

Tabela 1 – composição química das classes de ferro fundido cinzento.

Designação	Carbono [C] %	Silício [Si] %	Manganês [Mn] %	Fosforo [P] %	Enxofre [S] %
G1800h	3,5 - 3,70	2,30 - 2,80	0,60 - 0,90	0,25	0,14
G2500	3,4 - 3,65	2,10 - 2,50	0,60 - 0,90	0,25	0,12
G3000	3,35 - 3,60	1,90 - 2,30	0,60 - 0,90	0,20	0,12

Fonte: Adaptado de SAE J431:2000.

Figura 7 – Molde do corpo de prova

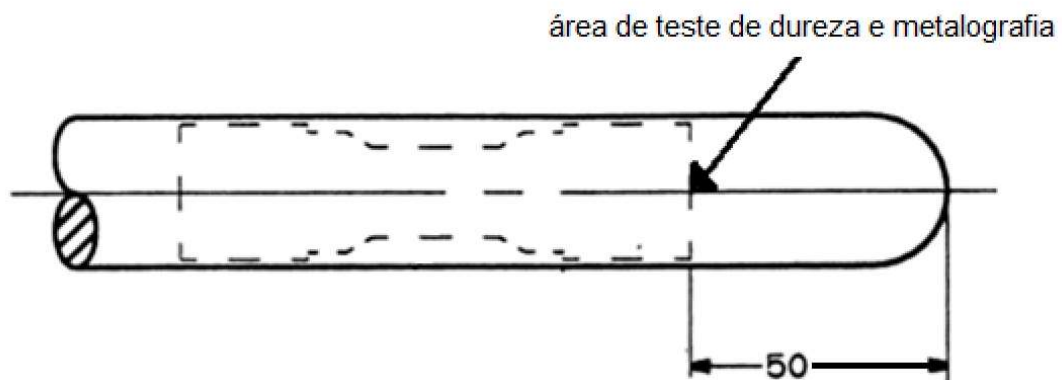


Fonte: O autor, 2021.

3.2 Ensaio de Dureza

Para a realização dos ensaios de dureza Brinell e metalografia dos corpos de prova foram seguidas as recomendações da norma ASTM A 48, como mostra a Figura 9. Estes processos foram realizados no laboratório Nobre Indústria de Peças.

Figura 9 – Zona de teste.

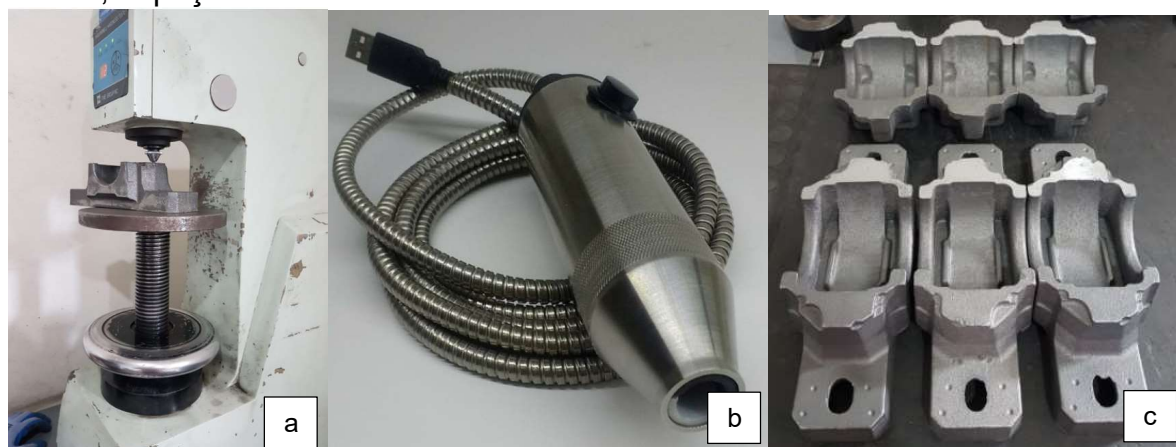


Fonte: Adaptado da Norma ASTM A 48, (2008).

Foi realizado ensaio de dureza Brinell nos 10 corpos de prova e em 3 conjuntos do SNH 511N (Pé e Tampa). As peças testadas passaram por lixamento da

superfície para a retirada de irregularidades. Após este processo as amostras foram posicionadas no durômetro da marca Timegroup modelo TH600, utilizando uma esfera de carbeto de tungstênio de 10mm e submetida a uma carga de 3000 kgf em um período de 12 segundos. Para o processo de medição de dureza Brinell foi utilizado a Lupa Brinell DuroControl. Na Figura 9 são mostradas as imagens dos equipamentos e peças utilizados.

Figura 9 – Equipamentos e peças empregados nos ensaios: a- Durômetro, b- lupa Brinell, c- peças testadas.



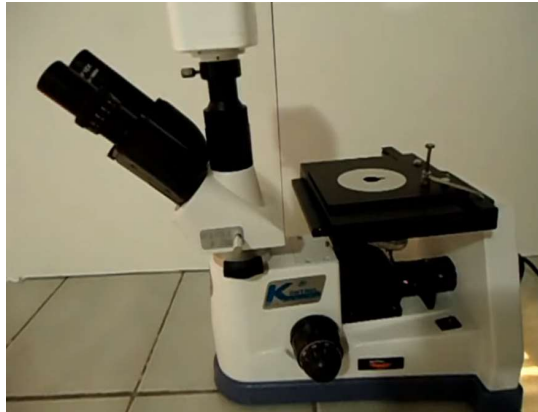
Fonte: O autor, (2021).

3.3 Ensaio Metalográfico

A caracterização da microestrutura das amostras foi feita com politriz da marca Fortel modelo PLF. Na preparação da superfície foram utilizadas lixas 100, 240, 400, 600 e 1200, tendo como referência 90° o movimento de lixamento entre elas, para deixar a superfície com melhor aspecto possível. Posteriormente, foram polidas com pasta de alumina e realizado ataque com reagente.

Neste processo, a face da amostra polida entra em contato com nital 3% por cerca de 5 segundos e em seguida, é realizado o processo de lavagem com água e álcool isopropílico. Após é feita a secagem com auxílio de algodão e secador, realizada a análise com aumento de 100x por meio do microscópio metalográfico marca Fortel modelo IM100I com aumento de até 400x a seco, mostrado na figura 10. Foi utilizado o *software* Quantikov para quantificação da matriz.

Figura 10 – Microscópio metalográfico.



Fonte: O autor, (2021).

3.4 Ensaio de Tração

Foram realizados 8 ensaios de tração em uma máquina da marca EMIC, modelo DL10000, no laboratório da fundição SpilRod, com capacidade de 10 toneladas, mostrada na figura 11.

Figura 11 – EMIC DL10000.

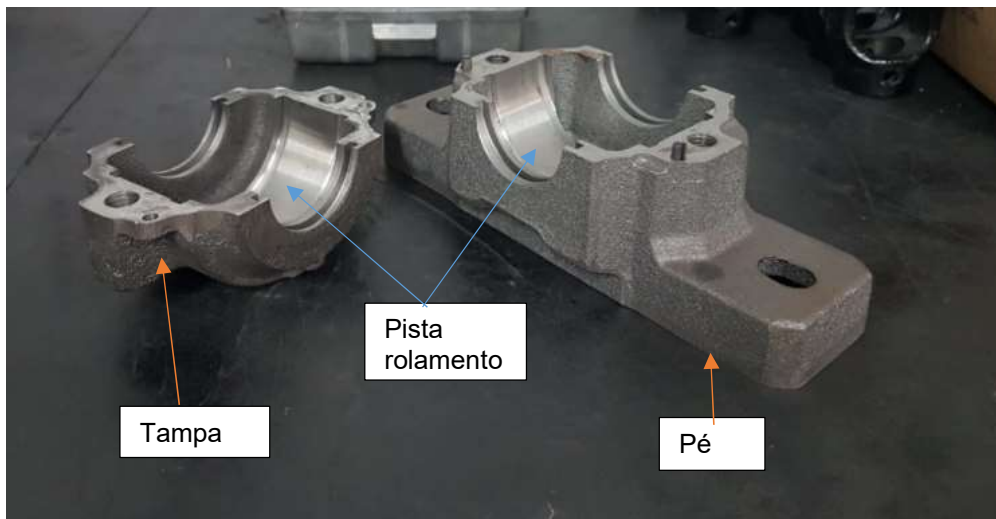


Fonte: O autor, (2021).

3.4 Medição V_{Bmax} .

Neste ensaio foi feita a comparação da usinagem de desbaste e faceamento da tampa, pé e da pista do rolamento do mancal de ferro fundido cinzento SNH 511, mostrado na figura 12, com e sem adição de enxofre. Os parâmetros de usinagem foram mantidos iguais nos dois casos, tendo como prioridades a quantidade de peças por gume de corte e medição do desgaste de flanco por medição do parâmetro V_{Bmax} .

Figura 12 – Componentes do mancal.



Fonte: O autor, (2021).

O torneamento da tampa foi realizado em um torno CNC Centur 30-50 da marca ROMI e a pastilha utilizada SNMA 120412 UC5115. A usinagem do pé, foi através do CNC Nardini logic – 195 com a pastilha WNMA 080408 UC5115. Foi usado o fluido de corte HG EKTA CUT 370 da marca HAGNOS nesses dois processos. Posteriormente, na pista do rolamento foi feita a usinagem por meio do torno convencional da marca IMOR sendo que, a pastilha é preparada através de barras de bits de metal duro. A tabela 2, mostra os parâmetros de usinagem utilizados em cada processo junto com a quantidade de peça testada.

Tabela 2 – Configurações dos ensaios.

Processo de usinagem	Vc [m/min]	f [mm/rot]	ap [mm]	QUANTIDADE DE PEÇAS
Tampa	200	0,10	1,50	150
Pé	200	0,15	1,50	150
Pista rolamento	80	0,25	2,00	50

Fonte: O autor, 2021

Para medição do VB_{max} da pastilha de usinagem foi utilizado um microscópio digital USB conectado a um computador, no qual foi possível medir o desgaste. O cálculo do desgaste de flanco foi feito por meio da diferença entre o desgaste gerado na pastilha e a altura total.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Nos seguintes tópicos serão mostrados os dados obtidos na análise química, no ensaio de dureza, no ensaio metalográfico, no ensaio de tração e no desgaste de flanco.

4.1 Análise Química

Os resultados obtidos nas análises químicas da fabricação do SNH 511 e seus corpos de prova estão de acordo com a norma SAE J431:2000, mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição química do material.

C	Si	Mn	P	S	Fe
3,48%	2,11%	0,65%	0,03%	0,12%	93,40%

Fonte: O autor, 2021.

Em relação a composição química utilizada pela empresa, para este estudo o percentual de enxofre está entre 0,020 a 0,030%, ou seja, foi acrescentado aproximadamente 80% de enxofre.

4.2 Ensaio de Dureza

A Tabela 4 mostra os resultados dos testes de todos os corpos de prova e a tabela 5 dos 3 conjuntos de peças testados com 0,12% de enxofre.

Tabela 4 – Dureza dos corpos de prova.

Corpos de prova	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9	CP 10	Média	σ
Dureza [HB]	182	182	173	177	173	173	173	177	174	174	175,8	3,6

Fonte: O autor, 2021.

Tabela 5 – Dureza das peças.

Item	Dureza [HB]			Média	σ
Tampa	173	174	177	174,7	2,1
Pé	173	174	175	174,0	1,0

Fonte: O autor, 2021.

A partir dos resultados obtidos é possível perceber que a dureza está dentro da norma SAE J431:2000, a qual especifica 172HB como a mínima permitida de acordo com a classe G2500. Outro ponto significativo é a homogeneização da dureza do pé e tampa, a qual era um dos principais problemas da antiga composição química de acordo com a tabela 6 no qual mostra a dureza média obtida.

Tabela 6 – Dureza das peças.

Item	Dureza [HB]			Média	σ
Tampa	182	177	167	175,3	7,6
Pé	158	145	154	152,0	7,0

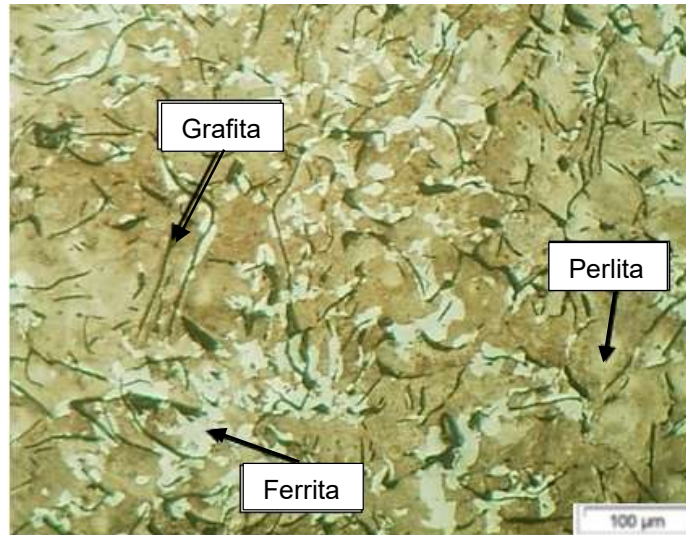
Fonte: O autor, 2021.

4.3 Análises Metalográficas

Nos ensaios metalográficos foram encontrados grafita predominantemente do tipo A com pequenas porções do tipo B (Figura 13). Na superfície foi encontrada grafita do tipo D e E, além dos tipos A e B, como mostra a Figura 14. Na matriz predomina a perlita e são encontradas pequenas quantidades de ferrita, sendo isento

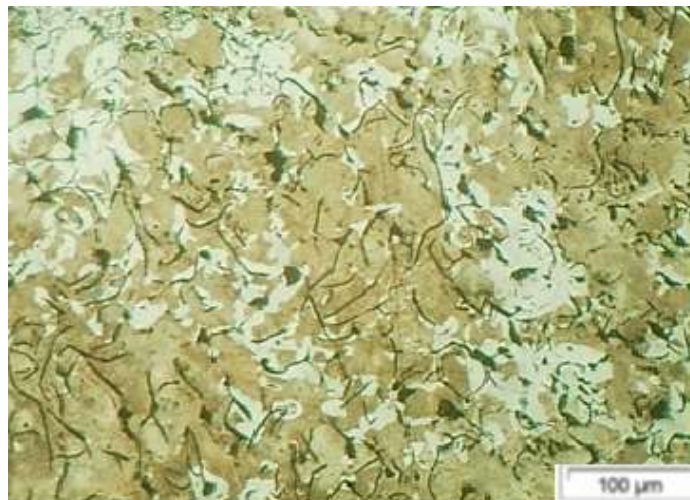
de carbonetos e cementita. Com o auxílio do *software* Quantikof foi encontrado uma matriz com 25% de ferrita e 75% de perlita, no qual é conhecido como matriz perlítico – ferrítico.

Figura 13 – Metalografia do núcleo.



Fonte: O autor, 2021.

Figura 14 – Metalografia da superfície



Fonte: O autor, (2021).

4.4 Ensaio de tração

A figura 15 mostra os resultados dos ensaios de tração, para qual foram utilizados 6 corpos de prova, resistência a tração obtida teve uma média 160,3 +/- 8,9MPa. De acordo com a norma SAE J431:2000 para corpos de prova com essas dimensões a resistência a tração mínima é de 153MPa.

Figura 15 – Variação da resistência a tração.



Fonte: O autor, (2021).

4.5 Ensaio de desgaste de flanco

A tabela 7 mostra o resultado do ensaio do material sem enxofre, no qual foram necessários 2 gumes de corte para usinagem de 150 tampas do mancal. O material com 0,12% de enxofre teve um melhor desempenho na usinagem, o qual conseguiu usinar 50% a mais de peças com um gume, como mostra os dados da tabela 8.

Tabela 7 – Tampa sem enxofre.

Gume de corte	Vc [m/min]	f [mm/rot]	ap [mm]	N° de peças	VBmax [mm]
1	200	0,1	1,5	100	0,51
2	200	0,1	1,5	50	0,12

Fonte: O autor, (2021).

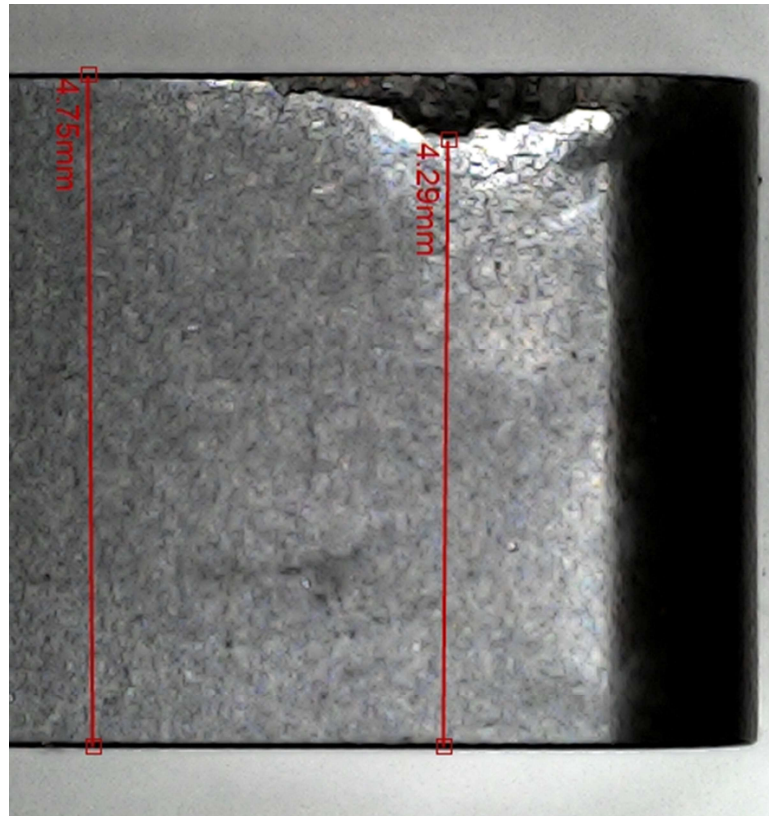
Tabela 8 – Tampa com 0,12% de enxofre.

Gume de corte	Vc [m/min]	f [mm/rot]	ap [mm]	N° DE PEÇAS	VBmax [mm]
1	200	0,1	1,5	150	0,46

Fonte: O autor, (2021).

A figura 16 demonstra o VB_{max} obtido no material com 0,12% de enxofre. Segundo a norma ISO 3686:1993, o desgaste de flanco máximo aceitável é de 0,6mm.

Figura 16 – Medição do VB_{max} .



Fonte: O autor, (2021).

No faceamento do pé foram usinadas 150 peças, e a comparação de usinagem foi feita através dos 6 primeiros gumes. O material com 0,12% de enxofre teve uma perda de 12% na usabilidade comparando com a outra composição. A variação de dureza comparando a tampa e o pé na usinagem sem enxofre, teve uma grande variação, porém, a dureza do material com enxofre se manteve homogênea durante o processo. Além disso, a usinagem desse processo possui cortes interrompidos e isso contribuiu para o maior desgaste das ferramentas de corte com menor quantidade de peças produzidas, explicando o melhor desempenho do material sem enxofre. A tabela 9 e 10 mostra os resultados dos materiais.

Tabela 9 – Pé sem enxofre.

Gume de corte	Vc [m/min]	f [mm/rot]	ap [mm]	N° de peças	VBmax [mm]
1	200	0,15	1,5	10	0,34
2	200	0,15	1,5	8	0,31
3	200	0,15	1,5	13	0,40
4	200	0,15	1,5	18	0,43
5	200	0,15	1,5	10	0,42
6	200	0,15	1,5	10	0,35
Média por gume				12	0,38
σ				3,3	0,044

Fonte: O autor, (2021).

Tabela 10 – Pé com 0,12% de enxofre.

Gume de corte	Vc [m/min]	f [mm/rot]	ap [mm]	N° DE PEÇAS	VBmax [mm]
1	200	0,15	1,5	11	0,42
2	200	0,15	1,5	12	0,44
3	200	0,15	1,5	11	0,44
4	200	0,15	1,5	8	0,43
5	200	0,15	1,5	7	0,42
6	200	0,15	1,5	12	0,38
Média por gume				10	0,42
σ				2,0	0,020

Fonte: O autor, (2021).

No processo da pista do rolamento foram usinados 50 mancais de cada material, tendo como critério de avaliação o V_{Bmax} . Nesta etapa o material com enxofre teve um ganho de 50% em sua usinagem, como mostra as tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Pista do rolamento sem enxofre.

Gume de corte	Vc [m/min]	f [mm/rot]	ap [mm]	N° de peças	VBmax [mm]
1	80	0,25	2	50	0,33

Fonte: O autor, (2021).

Tabela 12 – Pista do rolamento com enxofre.

Gume de corte	Vc [m/min]	f [mm/rot]	ap [mm]	N° de peças	VBmax [mm]
1	80	0,25	2	50	0,22

Fonte: O autor, (2021).

5. Conclusão

Com a utilização de 0.12% de enxofre em sua composição química houve a homogeneização de dureza entre o pé e a tampa, o que era um problema na antiga composição. No ensaio metalográfico foram encontrados grafita predominantemente do tipo A com pequenas porções do tipo B, na superfície foi encontrada grafita do tipo D e E, além dos tipos A e B e na matriz predomina a perlita e são encontradas pequenas quantidades de ferrita, sendo isento de carbonetos e cementita. Com o auxílio do software Quantikof foi encontrado uma matriz com 25% de ferrita e 75% de perlita. Os resultados obtidos com o ensaio de tração estão de acordo com norma SAE J431:2000, o qual teve uma média 160,3 MPa.

Em geral, no processo de usinagem por torneamento, o material com 0.12% de enxofre teve um melhor desempenho, tendo uma maior quantidade de peças usinadas com um menor desgaste dos gumes de corte. No processo de usinagem da pista de rolamento, que é considerado o mais crítico, o material com enxofre teve um ganho de 50% em sua usinagem. Visto que os parâmetros de corte foram mantidos os mesmos, mais estudos serão necessários para determinar a melhor velocidade de corte.

REFERÊNCIAS

Amorim, Heraldo. **Movimentos em usinagem e terminologia de ferramentas**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

Diniz, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

Ferraresi, Dino. **Usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

GARBELOTTO, Vinicius de Almeida. **ANÁLISE DA USINABILIDADE DO FERRO FUNDIDO CINZENTO COM VARIAÇÃO NO TEOR DE ENXOFRE**. 2017. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Unisatc, Criciúma, 2017.

GUESSER, Wilsson Luiz. **Propriedades mecânicas dos ferros fundidos**. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

KRATOCHVIL, Rafael. Fundamentos do processo de usinagem. **Moldes injeção plástica**, 2021. Disponível em: <http://moldesinjeaoplasticos.com.br/fundamentos-do-processo-de-usinagem/>. Acesso em: 24 mai. 2021.

MOTT, Robert L. **Elementos de máquinas em projetos mecânicos**. São Paulo: Pearson, 2015.

Pereira, Adriana Ana; BOEHS, Lourival. Revisão: **influência das inclusões de sulfeto de manganês na usinabilidade**. 15º POSMEC. FEMEC/UFU. Minas Gerais. 2005.

REBEYKA, Claudimir José. **Princípios dos processos de fabricação por usinagem**. Curitiba: Intersaberes, 2016.

Santos, Diego Fernando González, **Caracterização microestrutural, mecânica e durante o processo de torneamento de aços ABNT 1045 e ABNT 1145 para avaliação do efeito do enxofre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Escola politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SANTOS, S.C., SALES, W. F. Aspectos **tribológicos da usinagem dos materiais**, Ed. Artliber. 1ª edição, São Paulo, 2007, 248 p.

Schroeter, Rolf Bertrand; Teixeira, Cleiton Rodrigues. **Proposta de Metodologia para Medição do Desgaste em Ferramentas de Corte de Geometria Definida**. Anais do 1º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Rio Grande do Norte, 2000.

VAN VLACK, Laurence .H. **Princípios de Ciências e Tecnologias dos Materiais**. 4º ed. Rio de Janeiro: Campus, 1984; p.495 e 567.

Agradecimentos

Agradeço à minha família e amigos por sempre estarem ao meu lado, desde o início da minha vida acadêmica.

Ao meu orientador, Luiz Carlos de Cesaro Cavaler, agradeço por todo o apoio e suporte durante esse processo. Além, dos ensinamentos passados durante toda a minha jornada acadêmica.

À NOBRE Indústrias de peças e toda sua equipe por fornecer o espaço e materiais para que esse estudo pudesse ser concretizado; em especial aos engenheiros Lucas Cunha e Richard Cardoso Costa, que estiverem ao meu lado dando todo o auxílio e suporte em todas as etapas desse projeto.