

## Influência do nióbio na resistência ao desgaste de ferros fundidos nodulares: Uma revisão da literatura

Carlos Eduardo Michelin Beraldo<sup>1,2</sup>, André Zimmer<sup>1</sup>, Cinthia Gabriely Zimmer<sup>1\*</sup>  
\*Orientadora

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)  
Campus Feliz. Feliz, RS, Brasil.

<sup>2</sup>Suspensys Sistemas Automotivos. Caxias do Sul, RS, Brasil

**Resumo.** A revisão da literatura é parte essencial na concepção de um projeto de pesquisa. A partir de uma investigação apurada é possível delimitar o estado atual do conhecimento atingido sobre um dado tema, as suas lacunas e a contribuição da investigação para o desenvolvimento de conhecimento inédito, expondo a necessidade de avanço da matéria em questão. Com intuito de delimitar o problema a ser investigado, o presente trabalho busca subsidiar, com base na literatura, a utilização de nióbio em ligas de ferro fundido nodular para aplicações em componentes automotivos com participação em pares tribológicos sujeitos a fortes interações de atrito que proporcionem situações de elevado desgaste. A adição de nióbio no ferro fundido nodular, para o foco do estudo, visa suprimir uma etapa de processamento, no caso o tratamento térmico da liga, sendo uma alternativa competitiva em soluções de resistência ao desgaste. Para embasar esta proposta, serão apresentados e correlacionados os resultados obtidos em estudos de cinco diferentes ligas de ferro fundido, as quais foram produzidas com diferentes percentuais de nióbio em sua composição. As ligas foram avaliadas quanto a resistência ao desgaste, dureza e avaliação microestrutural. Paralelo a esta avaliação, também serão apresentados resultados obtidos em estudos aplicados a componentes de motores a combustão. De acordo a literatura, adições de nióbio tendem a formar carbonetos finos e dispersos na matriz, o que melhora as propriedades de desgaste, impacto e tração, contudo, os achados mostraram que o estudo sobre o uso do nióbio é vasto em ligas diversas de ferro fundido e aços, mas há lacunas quanto ao estudo e disponibilidade de informações referentes a desgaste no ferro fundido nodular. Sendo assim ainda se fazem necessários estudos mais aprofundados sobre a influência de adições de nióbio nas propriedades de desgaste do ferro fundido nodular para suprir a necessidade de competitividade aos processos atualmente empregados na indústria automotiva.

**Palavras-chave:** Ferro fundido nodular. Nióbio. Carbetos de nióbio. Resistência ao desgaste. Componentes automotivos.

**Abstract.** Literature review is an essential part of the design of a research project. From a detailed investigation, it is possible to delimit the current state of the knowledge reached on a given theme, its gaps and the contribution of research to the development of unprecedented knowledge, exposing the need for advancement of the subject in question. In order to delineate the problem to be investigated, the present work seeks to subsidize, based on the literature,

the use of niobium in ductile cast iron alloys for applications in automotive components which are part of a tribological pair subject to heavy friction interactions leading to elevated wear. The focus of the study is the addition of niobium in the ductile cast iron that aims to suppress a processing step, in this case the heat treatment of the alloy, being a competitive alternative in solutions of wear resistance. To support this proposal, results obtained in studies of five different cast iron alloys will be present and correlated, which were produced with different percentages of niobium in their composition. The alloys were evaluated as wear resistance, hardness and microstructural evaluation. Parallel to this evaluation will also be presented results obtained in studies applied to components of combustion engines. Additions of niobium tend to form fine and dispersed carbides in the matrix, which improves wear, impact and tensile properties, however, findings have shown that the study of niobium use is vast in cast iron alloys and steels, but there are gaps about the study and public information about wear resistance on ductile cast iron. Thus, further studies on the influence of niobium additions on the wear properties of ductile cast iron are still required to fulfill the gap on competitiveness to the current processes used on the automotive industry.

**Keywords:** Ductile cast iron. Niobium. Niobium carbide. Wear resistance. Automotive components.

## Introdução

A crescente demanda por soluções de alto desempenho, elevada durabilidade, confiabilidade e redução de peso em componentes na indústria automotiva, vem tornando os esforços de Engenharia cada vez mais focados no desenvolvimento e aplicação de novos materiais para as utilizações triviais. Este fato é principalmente observado nos componentes referentes a suspensão de veículos comerciais pesados, visando maior competitividade através da redução de peso e custo, sem comprometer fatores de qualidade e segurança.

Ligas metálicas fundidas são determinadas em função de fatores, tais como: custo, resistência, durabilidade, capacidade e disponibilidade de fabricação e a melhor combinação de propriedades metalúrgicas que atendem as necessidades de projeto (BERALDO, 2006). Em aplicações de impacto, os ferros fundidos nodulares (*Ductile Iron – DI*) são amplamente recomendados, uma vez que eles apresentam elevada resistência a tração e alongamento. Todavia, em aplicações de contato entre duas superfícies, além da elevada resistência mecânica, é necessária elevada resistência ao desgaste, o que em ligas tradicionais de *DI*, tais propriedades não são obtidas. Para aumentar a resistência ao desgaste em ferros fundidos, há basicamente três formas: emprego de tratamento térmico (ToTo), adições de elementos de liga específicos e a combinação de ambos (GUEDES, 1990). A escolha do processo, seja ele ToTo ou adições de elementos de liga, é muitas vezes definida em virtude do processo disponível, bem como dos custos envolvidos. A opção de utilizar ToTo incorre em maiores gastos, uma vez que os custos com eletricidade na maioria dos países é elevado (BEDOLLA-JACUINDE; SOLIS; HERNANDEZ, 2003). No caso da adição de elementos de liga, o Nióbio (Nb) é um elemento significativo, pois o mesmo em pequenas quantidades (inferiores a 1,5%) promove a elevação da resistência ao desgaste e dureza devido a formação de carbonetos (NbC) (GUEDES, 1990). Na

literatura atual não se encontrou grande número de trabalhos sobre o efeito do nióbio na resistência ao desgaste de materiais fabricados em *DI*, bem como sua aplicação em componentes automotivos sujeitos puramente a solicitações de desgaste. A grande maioria dos trabalhos buscou avaliar os ganhos em termos de valores específicos em função das propriedades mecânicas (YAN et al., 2014; PIMENTEL; GUESSER, 2017). Os poucos trabalhos realizados, na busca de avaliar melhorias em desgaste de *Df*s, utilizaram como base de estudo componentes de motores. Esses tipos de aplicações podem ser consideradas severas uma vez que o ambiente de trabalho, além de altamente abrasivo devido as grandes velocidades relativas existentes entre os componentes, possui níveis de esforços e temperaturas significativamente elevados (TOMANIK, 2000; VATAVUK; VILLAR, 2002; GARCIA, 2003). No passado não tão distante, estudos sobre ligas fundidas ao nióbio, foram conduzidos para aplicação em rolos de laminação e moagem de pedras, onde os primeiros resultados apresentaram vida superior aos materiais tratados termicamente atuais. (NYLEN T., 2001). Procurando contribuir e melhorar o nível de conhecimento sobre a influência de adições de nióbio em ferros fundidos nodulares, o presente trabalho faz uma revisão da literatura dos métodos e resultados obtidos em relação a resistência ao desgaste. A proposta visa justificar, suportar e incentivar a utilização de ligas fundidas nodulares com adições de nióbio, bem como a realização de novos estudos na área, afim de criar uma maior base de informações sobre estes tipos de materiais nas mais diferentes aplicações, de modo especial, em componentes comuns do ramo automotivo que exigem alta desempenho em situações de contato severo.

## Materiais e Métodos

A obtenção de ligas fundidas nodulares com adições de nióbio, apresenta geralmente, composições dentro de *ranges* compreendidos para a obtenção de matriz perlítico-ferrítica. Esta composição compreende em torno de:

C% 3,3 - 4,2;  
Si% 2,7 - 3,2;  
Mn% 2,3 - 2,8;  
Mo% 0,4 - 0,6;  
Cu% 0,4 - 0,7 e  
P% < 0,2.

A faixa de temperatura de fusão varia entre 1450°C a 1500°C (VATAVUK; VILLAR, 2002; BEDOLLA-JACUINDE; SOLIS; HERNANDEZ, 2003; RIVERA L et al., 2003; ZHANG; REN, 2013; TERESA et al., 2014; YAN et al., 2014; PIMENTEL; GUESSER, 2017). A adição de nióbio, conforme citado anteriormente, pode variar em concentrações de até 1,5% em massa (GUEDES, 1990). Boa parte dos estudos realizados até o momento utilizam um percentual em massa de no máximo 0,8%. Em função desta concentração, denota-se o limite máximo de ganhos em relação a resistência mecânica da liga e dureza para a utilização em ligas sem ToTo.

O processo de adição do nióbio ocorre logo após a fusão da liga, sendo este colocado anteriormente ao processo de inoculação, afim de proporcionar uma melhor homogeneização e dissolução do nióbio na panela. Recomenda-se a promoção de agitação do banho, com intuito de gerar uma maior turbulência e por consequência um maior rendimento na formação dos carbonetos (SOUZA; AGUILAR, 2012).

Nos trabalhos já realizados, os corpos de prova foram obtidos através de fundição em areia. Para os corpos de prova de resistência a tração foram fundidos

blocos do tipo “Y” conforme ASTM A897/05. A microestrutura é avaliada com base na norma ASTM A842/09. Para ensaios de desgaste, usualmente, são fundidos pinos com tamanho apropriado para cada tipo de equipamento de teste (SOUZA; AGUILAR, 2012; TERESA et al., 2014). O número de amostras utilizadas para cada tipo de ensaio pode variar em função da natureza do teste, sendo que em nenhum caso foram utilizadas menos do que três amostras por teste. Especificamente para avaliações de desempenho na resistência ao desgaste, apenas dois trabalhos abordaram o tema de forma direta, nestes os métodos de ensaio foram: Fabricação de anéis de pistão em *DI* com nióbio e Ensaio de pino rotativo.

No primeiro caso, os anéis foram testados para aplicações automotivas em motores de combustão interna do ciclo Otto, como também em motores de compressão do tipo Diesel, onde foram avaliadas as tendências de desgaste entre as superfícies de contato dos pistões e cilindro (VATAVUK; VILLAR, 2002).

No ensaio de pino rotativo é confeccionado um pino, o qual é acoplado a um eixo com movimento rotacional que entra em contato com material abrasivo. Posteriormente é realizada uma análise de perda de massa do pino considerando as massas inicial e final. Nesse estudo testou-se cinco diferentes concentrações de nióbio em seis replicatas. Este tipo de teste (pino rotativo) não é regido por norma técnica (SOUZA; AGUILAR, 2012).

## Resultados

A Tabela 1, apresenta as composições químicas das ligas produzidas sob as diferentes concentrações de Nb (SOUZA; AGUILAR, 2012). Na Tabela 2 é possível verificar os valores referentes as perdas de massa ocorridas nos pinos de *DI* produzidas sob as diferentes concentrações de nióbio (SOUZA; AGUILAR, 2012).

C %	Si%	Mn%	P%	S%	Mg%	Nb%	Fe%
3,74	2,67	0,23	0,096	0,013	0,038	0,001	Balanço
3,39	2,76	0,24	0,101	0,016	0,040	0,230	Balanço
3,63	2,64	0,25	0,092	0,009	0,039	0,471	Balanço
3,64	2,62	0,23	0,089	0,009	0,037	0,671	Balanço
3,32	2,57	0,23	0,085	0,008	0,034	0,852	Balanço

**Tabela 1.** Composição química dos diferentes ferros fundidos produzidos com e sem adição de nióbio (SOUZA; AGUILAR, 2012).

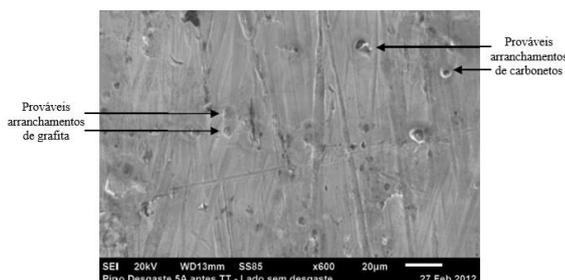
Ensaio de Desgaste [g/g]				
0,0% Nb	0,23% Nb	0,47% Nb	0,67% Nb	0,85% Nb
0,0295	0,0258	0,0230	0,0211	0,0234
0,0270	0,0340	0,0219	0,0200	0,0162
0,0201	0,0250	0,0213	0,0229	0,0145
0,0351	0,0292	0,0208	0,0224	0,0277
0,0220	0,0323	0,0180	0,0184	0,0206
0,0273	0,0349	0,0241	0,0244	0,0218

**Tabela 2.** Valores de perda de massa relativa dos ferros fundidos no ensaio de desgaste (SOUZA; AGUILAR, 2012).

Ferro Fundido Nodular com 0,23% de Nióbio	Grau de Esferoidização (%)	80	
	Número de Esferoides/mm <sup>2</sup>	278	
	Perlita (%)	56	
	Ferrita (%)	44	
	Precipitados/Carbonetos (%)	< 1	
Ferro Fundido Nodular com 0,47% de Nióbio	Grau de Esferoidização (%)	85 a 90	
	Número de Esferoides/mm <sup>2</sup>	170	
	Perlita (%)	75	
	Ferrita (%)	25	
	Precipitados/Carbonetos (%)	< 1	
Ferro Fundido Nodular com 0,67% de Nióbio	Grau de Esferoidização (%)	85 a 90	
	Número de Esferoides/mm <sup>2</sup>	150	
	Perlita (%)	85	
	Ferrita (%)	15	
	Precipitados/Carbonetos (%)	<2	
Ferro Fundido Nodular com 0,85% de Nióbio	Grau de Esferoidização (%)	85 a 90	
	Número de Esferoides/mm <sup>2</sup>	160	
	Perlita (%)	88	
	Ferrita (%)	12	
	Precipitados/Carbonetos (%)	< 2	

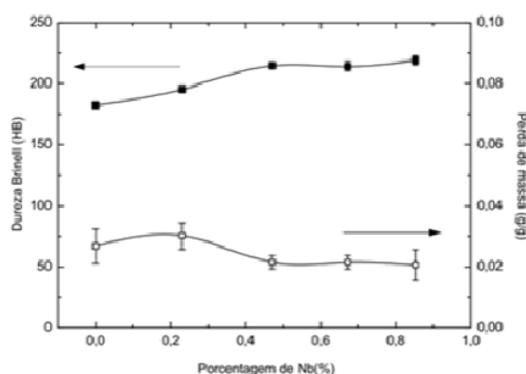
**Quadro 1.** Caracterização das fases e constituintes dos ferros fundidos nodulares com diferentes adições de nióbio (microscopia ótica e análise quantitativa) (SOUZA; AGUILAR, 2012).

A discreta melhora na resistência ao desgaste, obtida nas amostras com maiores teores de nióbio, pode ser associada a um comportamento de perda de carbonetos devido as características do teste e seus mecanismos de iteração. A Figura 1 mostra a superfície de um dos corpos de prova utilizados no ensaio de resistência ao desgaste, onde é possível verificar possíveis arrancamentos de NbC e grafita (SOUZA; AGUILAR, 2012).



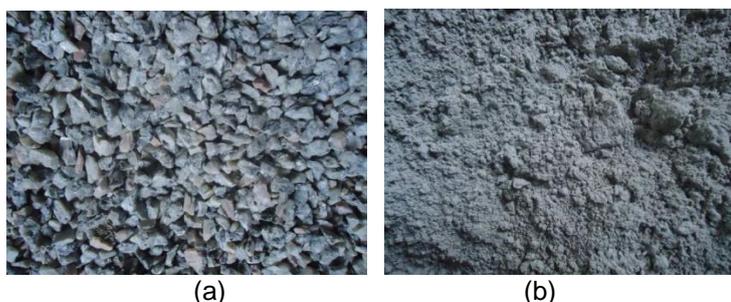
**Figura 1.** Superfície do corpo de prova utilizado no ensaio de desgaste do lado oposto ao contato direto com o abrasivo.

O arrancamento de carbonetos usualmente ocorre em matrizes de menor dureza. Este fato pode ser comprovado com base na análise de dureza, onde a liga com 0,23% de Nb apresenta, dentre as amostras ligadas, a menor média de dureza. Isso já era esperado por se tratar da liga com menor quantidade de nióbio em sua composição. O Gráfico 1 apresenta a relação entre resistência ao desgaste e dureza das amostras (SOUZA; AGUILAR, 2012). Comprova-se que a perda de massa das amostras diminui juntamente com o aumento de dureza das mesmas (SHAFFIE. A, AHMADABADI.M.N, GHASEMI, H.M. MIRZAEI).



**Gráfico 1.** Variação da perda de massa em função da dureza Brinell nos ferros fundidos com adição de nióbio (SOUZA; AGUILAR, 2012).

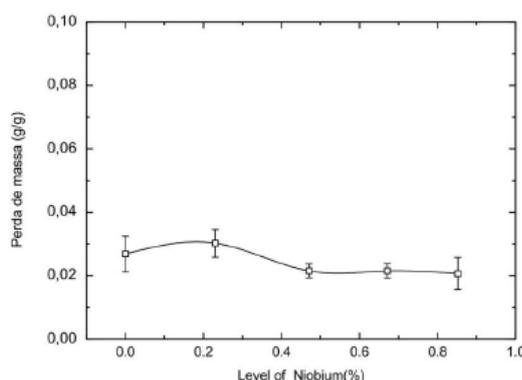
As imagens da Figura 2 apresentam a variação na forma do abrasivo utilizado no teste de resistência ao desgaste. Conforme pode-se observar houve uma mudança considerável na granulometria e forma antes e após o teste, o que indica um bom resultado de resistência das ligas estudadas, mesmo considerando uma variação discreta na perda de massa das mesmas (SOUZA; AGUILAR, 2012).



**Figura 2.** (a) Abrasivo antes do teste de resistência ao desgaste (SOUZA; AGUILAR, 2012).  
(b) Abrasivo após o teste de resistência ao desgaste (SOUZA; AGUILAR, 2012).

## Discussões

É possível verificar que a perda de massa entre as ligas com diferentes percentuais de nióbio são significativas, conforme ilustrado no Gráfico 2. Também notou-se que para concentrações maiores de Nb, há uma tendência de redução nos níveis de desgaste. Dessa forma confirma-se que a resistência ao desgaste das ligas aumenta juntamente com o aumento teor de nióbio (SOUZA; AGUILAR, 2012).



**Gráfico 2.** Perda de massa do ferro fundido nodular com nióbio em ensaio de desgaste (SOUZA; AGUILAR, 2012).

Estes resultados são esperados uma vez que elevados teores de Nb na composição, refletem na presença de carbonetos (NbC) associados a uma maior quantidade de perlita (BEDOLLA-JACUINDE; SOLIS; HERNANDEZ, 2003). Este comportamento é confirmado no Quadro 1 (SOUZA; AGUILAR, 2012). Todavia, a liga com concentração de 0,23% de Nb, apresentou desgaste ligeiramente mais acentuado que as demais ligas testadas com quantidade de nióbio superiores. (DOMMARCO; SOUSA; SIKORA, 2004).

Comportamento similar foi observado em estudos realizados com anéis de pistão onde, em testes de aplicação funcionais, foi evidenciada a redução de cerca de 20% no desgaste do componente com adições de nióbio em comparação com o material atualmente utilizado (VATAVUK; VILLAR, 2002), esse fato corrobora ainda mais para a ampliação dos estudos referentes ao tema.

## Considerações finais

Ao avaliar a literatura e os trabalhos publicados, no que tange a avaliação de resistência ao desgaste em ligas de ferro fundido nodular com adição de nióbio, sem tratamentos térmicos, é possível perceber que há uma grande janela de oportunidades para novos estudos, visto que há uma escassez de estudos focados no tema. A grande maioria dos estudos existentes são desenvolvidos principalmente simulando condições similares as reais aplicações dos componentes, e comprovam que o uso de nióbio em ligas de ferro fundido nodular é interessante para situações que envolvam desgaste. Os estudos aqui apresentados, subsidiam de forma positiva o avanço destas pesquisas na área de aplicação da resistência ao desgaste tendo em vista os resultados alinhados com a expectativa de aumentos de vida útil. Foi evidenciado que adições a partir de 0,47% de nióbio em ferros fundidos nodulares acarretam no aumento da resistência ao desgaste em 20%. Corroborando com esta

informação, é de suma importância para o cenário econômico atual, onde competitividade é uma necessidade básica para manutenção das atividades empresariais, que se busque o desenvolvimento de materiais alternativos que apresentem elevada resistência ao desgaste e baixo custo em comparação com as soluções atuais. No caso especial de ligas de ferro fundido nodular, sem tratamento térmico, e com adição de nióbio, a possibilidade de competitividade é extremamente elevada, por se tratar de um processo de tecnologia altamente conhecida e disseminada, aliada ao fato de o Brasil possuir cerca de 98% das reservas mundiais de nióbio (CORDEIRO, T., 2018). Outro ponto importante que impacta de forma positiva na continuidade dos estudos, é que a supressão do tratamento térmico, pela adição de elementos de liga, pode ser um processo com menor impacto ambiental e mais sustentável, uma vez que tratamentos térmicos envolvem alto consumo de energia.

### Referências

BEDOLLA-JACUINDE, A.; SOLIS, E.; HERNANDEZ, B. Effect of niobium in medium alloyed ductile cast irons. **International Journal of Cast Metals Research**, v. 16, n. 5, p. 481–486, 2003.

BERALDO, C. E. M. **INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES METALÚRGICAS NA EFICIÊNCIA DE FRENAGEM EM TAMBORES DE FREIO DE FERRO FUNDIDO CINZENTO** Caxias do Sul Universidade de Caxias do Sul, , 2006. .

CORDEIRO, T. **A verdade sobre o nióbio**. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ciencia/a-verdade-sobre-o-niobio/>>. Acesso em: 10 maio. 2018.

DOMMARCO, R. C.; SOUSA, M. E.; SIKORA, J. A. Abrasion resistance of high nodule count ductile iron with different matrix microstructures. v. 257, p. 1185–1192, 2004.

GARCIA, M. B. Características do desgaste de anéis de pistão com diferentes tecnologias de tratamentos superficiais. p. 138, 2003.

GUEDES, L. C. PI9000218A. **INPI**, v. 1, p. 8, 1990.

NYLEN T. Niobium in cast iron. **Niobium science and technology**, v. TMS, p. 1063–1080, 2001.

PIMENTEL, A. S. O.; GUESSER, W. L. Tratamento térmico de austêmpera em ferro fundido nodular com adições de nióbio e de cromo. **Revista Materia**, v. 22, n. 2, 2017.

RIVERA L, I.; ROCA V, A.; PATIÑO C, F.; CRUELLS C, M. Microalloyed niobium influence on ductile ferrite cast irons. **International Journal of Cast Metals Research**, v. 16, n. 1–3, p. 65–70, 2003. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13640461.2003.11819560>>.

SHAFFIE. A, AHMADABADI.M.N, GHASEMI, H.M. MIRZAEI, E. H. **Wear\_behaviour\_of\_a\_Cr-Mo\_steel\_with\_different\_mic.pdf.crdownload**, [s.d.].

SOUZA, T. N. F.; AGUILAR, M. T. P. Produção E Caracterização Física E Mecânica De Ferros Fundidos Nodulares E Ferros Fundidos Nodulares Austemperados Com

Adição De Nióbio. 2012.

TERESA, M.; AGUILAR, P.; CETLIN, P. R.; HORIZONTE, B.; ANTUNES, R. L. Mechanical and Microstructural Characterization of Nodular Cast Iron (NCI) with Niobium Additions. v. 17, n. 5, p. 1167–1172, 2014.

TOMANIK, E. Modelamento do Desgaste por Deslizamento em Anéis de Pistão de Motores de Combustão Interna. p. 199, 2000.

VATAVUK, J.; VILLAR, C. A. Ferro Fundido Nodular Com Nióbio Para Aumento Da Resistência Ao Desgaste De Anéis De Pistão De Motores De Combustão Interna. p. 71–85, 2002.

YAN, Y.; CHANG, L.; CHEN, X.; HUA, Q.; ZHAI, Q. Effect of Niobium on the Morphology of Nodular Graphite in Ductile Iron. v. 852, p. 163–167, 2014.

ZHANG, J. T.; REN, F. Z. Study on the Influences on Microstructure and Properties of High-Strength Grey Cast Iron in Addition to Alloying Elements Nb. **Advanced Materials Research**, v. 800, p. 221–224, 2013. Disponível em: <<http://www.scientific.net/AMR.800.221>>.