

Análise do coeficiente de atrito obtido através de ensaio tribológico pino-disco para cermets de matriz NbC

Heitor Carneiro Dumas | heitor.dumas@hotmail.com¹

Giovani Conrado Carlini | giovani.carlini@ifsc.edu.br²

Cristiano da Silva | cristiano.silva@ifsc.edu.br²

IFSC Edital nº 03/2025/PROPPI PIBITI - PIJGW4317-2025

Trabalho de Pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Processos de usinagem são amplamente utilizados na indústria metalmeccânica e demandam constante aprimoramento para atender às exigências de produtividade e desempenho. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de desenvolvimento de novos materiais para ferramentas de corte, capazes de substituir sistemas convencionais e minimizar problemas associados ao desgaste e ao atrito.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento tribológico de cermets à base de carbeto de nióbio (NbC), utilizando níquel e a combinação níquel+nióbio como fase ligante, em substituição ao sistema tradicional WC-Co. Busca-se, especificamente, analisar o coeficiente de atrito desses materiais.

Para isso, foram produzidas amostras com composições NbC-10Ni e NbC-6,5Ni-3,5Nb (% em peso), por meio de técnicas convencionais de metalurgia do pó. As superfícies foram preparadas por procedimento metalográfico padrão, incluindo lixamento e polimento, visando à caracterização microestrutural. Os ensaios tribológicos foram realizados em tribômetro do tipo pino-disco, sob condições controladas de carga, velocidade e distância de deslizamento, utilizando esfera de alumina como contra-corpo.

Os resultados mostraram que ambas as composições apresentaram comportamento semelhante, com coeficientes de atrito médios de 0,646 e 0,648. Esses valores são considerados baixos e indicam potencial para aplicação em ferramentas de corte, uma vez que contribuem para a redução das forças de usinagem e do consumo energético.

Palavras-chave: tribologia; metalurgia do pó; cermet; carboneto de nióbio; coeficiente de atrito.

Introdução

Os processos de usinagem desempenham papel fundamental na indústria de transformação metalmeccânica. Diante da crescente competitividade industrial, há uma

¹ Estudante de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul - Rau.

² Professor de Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul - Rau.

demanda constante por aumento de produtividade, o que impulsiona a busca contínua por melhorias e avanços nesses processos.

O metal-duro destaca-se como o material mais amplamente empregado na fabricação de ferramentas de corte. No entanto, a concentração quase monopolística no fornecimento de sua matéria-prima, associada aos riscos ocupacionais apontados por órgãos oficiais norte-americanos e europeus, tem intensificado as discussões acerca da necessidade de desenvolver materiais alternativos para essa aplicação.

Nos processos convencionais de usinagem, como o torneamento e o fresamento, utilizam-se ferramentas com geometria definida para promover a remoção de material na forma de cavaco. Esse processo ocorre por meio do contato direto entre ferramenta e peça. Como consequência, o atrito na interface ferramenta/peça provoca desgaste da aresta de corte, o que pode resultar em deterioração do acabamento superficial, elevação da temperatura e, em casos extremos, falha da ferramenta.

O estudo da usinagem exige uma abordagem integrada, envolvendo princípios termodinâmicos, metalúrgicos e tribológicos. Nesse contexto, este trabalho busca analisar a resistência ao desgaste de cermets à base de carbeto de nióbio (NbC), utilizado como fase dura, tendo como ligante o níquel ou a combinação níquel+nióbio, em substituição ao sistema convencional WC-Co.

As amostras foram avaliadas quanto ao seu comportamento tribológico, com ênfase na determinação do coeficiente de atrito por meio de ensaios de desgaste realizados em tribômetro do tipo pino-disco.

Fundamentação teórica

Entre os diversos processos de fabricação empregados na indústria metalmeccânica, a usinagem se destaca como um dos mais relevantes. Seu desenvolvimento está diretamente relacionado ao aprimoramento contínuo das ferramentas de corte, especialmente no que se refere à sua aplicação, disponibilidade e ao desenvolvimento de novos materiais.

Durante a operação, ferramentas de corte estão sujeitas a diferentes mecanismos de desgaste. O atrito decorrente do contato entre ferramenta e peça é um fator crítico,

devendo ser investigado com o objetivo de aumentar a vida útil da ferramenta e melhorar a qualidade da superfície usinada (WOYDT; MOHRBACHER, 2013).

O desgaste pode ser caracterizado como a perda progressiva de massa e dimensões em superfícies em contato, causada por interações mecânicas associadas ao movimento relativo entre elas (BHUSHAN, 2013; ZUM GAHR, 1987). Além disso, o atrito entre componentes representa uma parcela significativa do consumo energético, acarretando impactos econômicos e ambientais relevantes (DE PORTU; GUICCIARDI, 2014).

Nesse cenário, o NbC surge como uma alternativa promissora ao WC na usinagem, especialmente no torneamento de ligas ferrosas. Sua baixa solubilidade em elementos como Cr, Ni, Co e Fe favorece seu uso na fabricação de ferramentas de corte, proporcionando desempenho comparável ao sistema WC-Co. Essa característica reduz a propensão ao desgaste por adesão e difusão, mecanismos que comprometem a durabilidade das ferramentas (HADIAN; ZAMANI; CLEMENS, 2019).

Diversos equipamentos podem ser utilizados na avaliação do desgaste, sendo o tribômetro pino-disco um dos mais difundidos. Nesse ensaio, um pino com geometria definida — geralmente cilíndrica ou esférica — é pressionado contra um disco plano, posicionado perpendicularmente. O movimento relativo gera uma trajetória circular na superfície do disco, conhecida como pista de desgaste, enquanto uma carga normal é aplicada sobre o pino (ASTM, 2000).

Apesar do potencial do NbC, suas propriedades tribológicas ainda não estão completamente estabelecidas, evidenciando lacunas que demandam investigação experimental. Os resultados desta pesquisa podem contribuir para o avanço no desenvolvimento de novos materiais para ferramentas de corte.

Procedimentos metodológicos

Para a realização dos ensaios tribológicos deste estudo, foram empregados cermets com composições NbC-10Ni e NbC-6,5Ni-3,5Nb (% em peso), obtidos

previamente por rotas convencionais da metalurgia do pó. As amostras utilizadas apresentavam dimensões de 22 mm de diâmetro e 5 mm de espessura.

A preparação das superfícies para análise em microscopia óptica foi conduzida conforme procedimentos metalográficos usuais. Inicialmente, as amostras foram embutidas em baquelite e submetidas ao lixamento em equipamentos rotativos, utilizando uma sequência de lixas de carbeto de silício (SiC) nas granulometrias 120, 220, 320, 400, 600 e 1200. Em seguida, realizou-se o polimento em politriz rotativa, com o uso de pano apropriado e suspensões de diamante de 9 μm e 3 μm , aplicadas de forma sequencial.

Esse preparo tem como finalidade possibilitar a obtenção de micrografias adequadas para a caracterização da microestrutura do material e, posteriormente aos ensaios de desgaste, permitir uma análise mais nítida das trilhas formadas na superfície das amostras.

Os ensaios tribológicos foram executados em tribômetro do tipo pino-disco, com os seguintes parâmetros:

- Velocidade de deslizamento: 0,1 m/s;
- Carga aplicada: 10 N;
- Raio da pista: 6 mm;
- Distância de deslizamento: 1000 m;
- Contra corpo: esfera de alumina de $\varnothing 6$ mm.

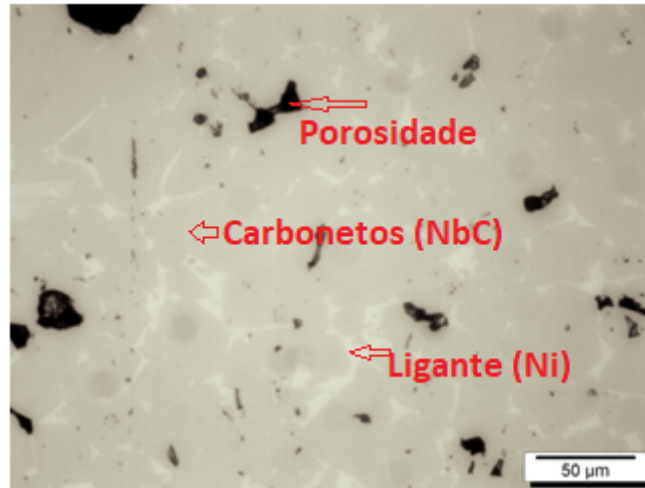
Para cada composição de cermet serão precedidos no mínimo 3 ensaios.

O coeficiente de atrito foi obtido pela leitura da força de atrito através de uma célula de carga. Os dados registrados serão processados em software comercial para obtenção do seu valor médio.

Resultados e discussões

A Figura 1 apresenta a microestrutura característica do cermet NbC-6,5Ni-3,5Nb. A fase dura do cermet, em maior quantidade é representada pelos grãos em cinza escura, enquanto a fase ligante, responsável por conferir resistência mecânica a matriz de carbonetos é representada pelo tom de cinza mais claro.

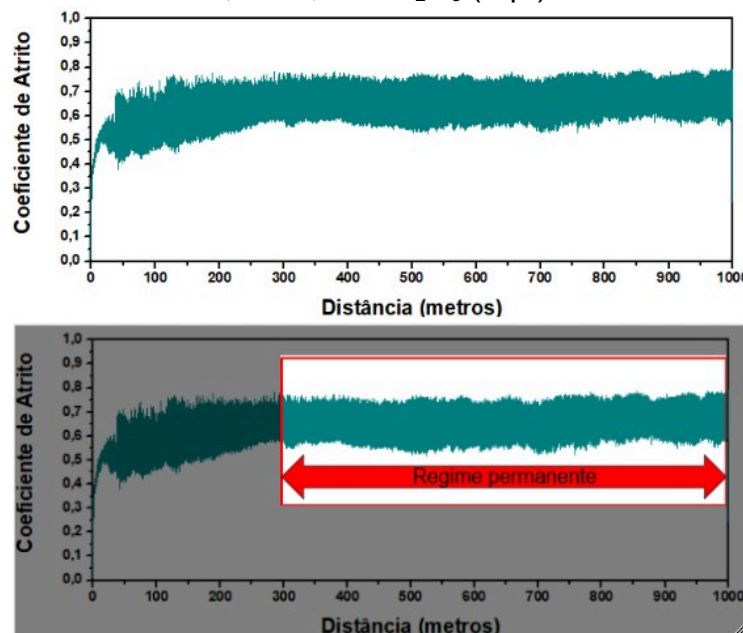
Figura 1 – Microscopia óptica do cermet NbC-6,5Ni-3,5Nb (%p.)



Fonte: Os autores (2026).

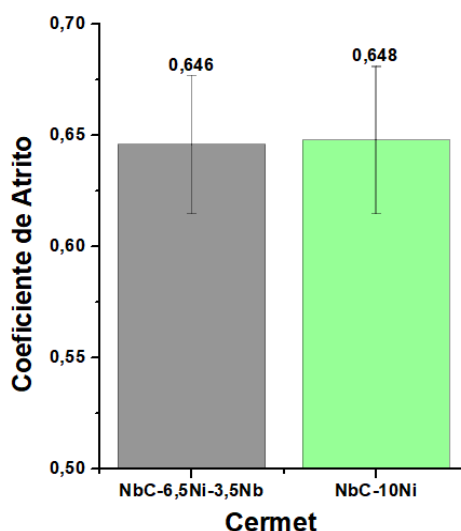
A Figura 2 apresenta o gráfico dos valores obtidos do coeficiente de atrito para o cermet NbC-6,5Ni-3,5Nb. No gráfico está destacada a região do regime permanente do coeficiente de atrito, a partir da qual é obtida a média do coeficiente de atrito, apresentada na Figura 3.

Figura 2 – Gráfico representativo do coeficiente de atrito para o cermet NbC-6,5Ni-3,5Nb/Al₂O₃ (%p.)



Fonte: Os autores (2026).

A Figura 3 exibe os valores do coeficiente de atrito médio obtidos para as três composições de cermets estudadas. Figura 3 – Coeficiente médio de atrito para os cermets NbC-6,5Ni-3,5Nb e NbC-10Ni.



Fonte: Os autores (2026).

Ambas as composições apresentaram valores estatisticamente iguais de coeficiente de atrito. Para o par NbC-6,5Ni-3,5Nb/ Al_2O_3 o valor médio foi de 0,646, enquanto o par NbC-10Ni/ Al_2O_3 o valor médio foi de 0,648.

O baixo atrito é desejável para um material empregado como ferramenta de corte, pois esta condição exigirá uma menor força de corte contribuindo desta maneira para a redução da potência líquida de corte por parte da máquina operatriz.

O coeficiente de atrito do NbC pode ser comparável aos obtidos pelo tradicional carbetto de tungstênio, qualificando-o para empregabilidade em componentes sujeitos a este tipo de solicitação (WOYDT; MOHRBACHER, 2013). Os valores dos coeficientes de atrito situados entre 0,3 e 0,7 são considerados baixos pela literatura (STOETERAU, 2004).

Considerações finais

Os resultados obtidos indicam que os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados, uma vez que foi possível avaliar o comportamento tribológico dos cermets à base de NbC e comparar seu desempenho em termos de coeficiente de atrito. As

composições analisadas apresentaram valores semelhantes e considerados baixos, evidenciando potencial para aplicação em ferramentas de corte, especialmente como alternativa aos materiais convencionais.

Destaca-se, ainda, a relevância desta atividade para a formação profissional, proporcionando o desenvolvimento de competências relacionadas à pesquisa experimental, análise crítica de resultados e domínio de técnicas laboratoriais.

Referência ao fomento recebido

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Instituto Federal de Santa Catarina IFSC, por meio do Edital nº 03/2025/PROPPi PIBITI - PIJGW4317-2025.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G99-95a Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus 1. . 2000.
- BHUSHAN, B. **Introduction to tribology**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2013.
- DE PORTU, G.; GUICCIARDI, S. Wear of Hard Ceramics. Em: **Comprehensive Hard Materials**. [s.l.] Elsevier Ltd., 2014. v. 2p. 385–412.
- HADIAN, A.; ZAMANI, C.; CLEMENS, F. J. Effect of sintering temperature on microstructural evolution of M48 high speed tool steel bonded NbC matrix cemented carbides sintered in inert atmosphere. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 74, p. 20–27, 1 ago. 2018.
- STOETERAU, R. L. **TRIBOLOGIA-EMC 5315**. UFSC, Florianópolis, 2004.
- WOYDT, M.; MOHRBACHER, H. Friction and wear of binder-less niobium carbide. **Wear**, v. 306, n. 1–2, p. 126–130, ago. 2013.
- ZUM GAHR, K.-H. *Microstructure and wear of materials*. New York: Elsevier, 1987. v. 10