


# ESTUDO COMPARATIVO DAS POTÊNCIAS DE CORTE NO PROCESSO DE TORNEAMENTO COM E SEM FLUIDO DE CORTE

## COMPARATIVE STUDY OF CUTTING POTENCES IN THE TURNING PROCESS WITH AND WITHOUT OF CUTTING FLUID

Andrew Charoy Files<sup>1</sup> Alex Sandro Roig Souza Filho<sup>2</sup> Gabriel Ferreira Barroso<sup>3</sup> Rodrigo Jorge Macedo<sup>4</sup> Leonardo Elesbão Cunha<sup>5</sup> Vinicius Amaro da Silveira Arpino<sup>6</sup> 

**Resumo:** No presente trabalho, é apresentada uma avaliação entre o método experimental e analítico, para determinar a influência do fluido de corte nas potências de usinagem envolvidas no processo de torneamento. Para tanto, foi realizado primeiramente a usinagem sem fluido de corte de um bloco de aço SAE 1020 com 50 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, posteriormente foi adotado o mesmo procedimento porém desta vez com a utilização de fluido de corte, obtendo valores de variáveis que tornaram possível a comparação entre os dois métodos supracitados. Como matéria prima foram utilizados dois tarugos sendo ambos aço SAE 1020, usinados a partir de uma ferramenta de corte especificada como pastilha de metal duro intercambiável com ângulo de posição de 90°. Os seguintes parâmetros de usinagem foram adotados na máquina operatriz: penetração de 1 mm, rotação de 500 RPM, e fluido de corte emulsionável com uma relação de volume de 1/10. Foi verificado que não se faz necessário a utilização de fluido de corte em situações onde há baixa exigência no que diz respeito a acabamento, como no caso de fabricação de peças aleatórias. Sua utilização é

---

<sup>1</sup> Técnico em Refrigeração e aluno do curso de Engenharia Mecânica, IFRS - Campus Rio Grande, andrew\_files@hotmail.com.

<sup>2</sup> Técnico em Refrigeração e aluno do curso de Engenharia Mecânica, IFRS - Campus Rio Grande, alexsandroroig@gmail.com.

<sup>3</sup> Técnico em Refrigeração e aluno do curso de Engenharia Mecânica, IFRS - Campus Rio Grande, gabriel.barroso@hotmail.com.br.

<sup>4</sup> Doutorando em Engenharia e Ciências dos Materiais - UFPEL e Professor dos cursos Técnico em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica, IFRS - Campus Rio Grande, rodrigo.macedo@riogrande.ifrs.edu.br.

<sup>5</sup> Técnico em Fabricação Mecânica e aluno do curso de Engenharia Mecânica, IFRS - Campus Rio Grande, leonardocunhars@gmail.com.

<sup>6</sup> Técnico em Fabricação Mecânica e aluno do curso de Engenharia Mecânica, IFRS - Campus Rio Grande, vinicius\_arpino1@hotmail.com.

justificada em circunstâncias como produção em série, visto que o tempo ocioso da máquina operatriz é reduzido em função de uma menor troca de arestas de corte da ferramenta.

**Palavras-chave:** Potências de corte. Torneamento. Usinagem.

**Abstract:** In this work, our aim is to show an evaluation between the experimental and analytical method, for determine the influence of the cutting fluid on the cutting potences involved in the process for turning. In order, first to do so the dry machining of a 50 mm diameter and 100 mm long SAE 1020 steel was done, and posteriorly the same procedure was adopted, however this time with the use of cutting fluid, thus making it possible to compare the two methods above. As a raw material, two types of SAE 1020 steel strips were used, machined for a cutting tool as an interchangeable carbide pastille with 90° position angle. The following parameters machining were adopted in the machine tools: penetration of 1mm, rotation of 500 RPM, and emulsifiable cutting fluid with a volume ratio of 1/10. It has been found that it is not necessary to use cutting fluid in situations where there is low requirement in regard to finishing, as in the case of manufacturing of random parts. Its use is justified in circumstances such as series production, since the downtime of the machine tools is reduced due to a smaller exchange of cutting edges of the tool.

**Keywords:** Cutting potencies. Turning. Machining.

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente na indústria metal mecânica competitiva, não há espaço para a realização de processos de usinagem com parâmetros ou condições de processo que não sejam econômicos. A necessidade da estimativa da potência de corte se faz necessária devido aos grandes períodos ininterruptos que máquinas de usinagem operam diariamente. Portanto, a diminuição de custos relativos ao consumo de energia elétrica está diretamente ligado a obtenção de processos com parâmetros de usinagem otimizados.

O objetivo geral deste trabalho foi comparar a potência de corte no processo de torneamento, com e sem a utilização de fluido de corte, a partir de métodos experimentais e analíticos. Este trabalho teve como objetivos específicos obter a força de corte requerida na usinagem a partir da medição de variáveis elétricas no processo de torneamento, comparar as potências de corte teóricas e experimentais obtidas e verificar a relação aproximada e teórica entre potência de corte e de avanço.

Esta pesquisa foi realizada no Laboratório de Usinagem do campus Rio Grande do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS<sup>7</sup>.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A crescente demanda por maior qualidade, produtividade e nível de eficiência dos processos de fabricação, tornou-se necessário à implantação de sistemas de detecção de potências de corte eficazes, com a finalidade de monitorar e inspecionar o processo de corte e as condições das ferramentas. Esse aperfeiçoamento dos processos de usinagem é muito específico, e vai desde estudos dos tipos e técnicas de utilização de fluidos de corte, ao consumo energético de um processo de usinagem, sempre com o objetivo de

---

<sup>7</sup> Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFRS, por fornecer toda a estrutura necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

obter uma melhor qualidade final da peça ou até igual, porém, com redução de custos (GONÇALVES, 2008).

O conhecimento da força de usinagem que age sobre a cunha cortante e o estudo de seus componentes são de grande importância, já que possibilitam estimar a potência necessária para o corte, bem como as forças atuantes nos elementos da máquina-ferramenta, além de manter relação com o desgaste das ferramentas de corte, influenciando a viabilidade econômica do processo (MACHADO et al., 2009). A força de usinagem é tratada como uma ação da peça sobre a ferramenta, e pode ser decomposta segundo Ferraresi (1970), como:

- Força ativa: É a projeção da força de usinagem sobre o plano de trabalho (plano no qual são realizados os movimentos de usinagem);
- Força de corte: Também conhecida como força principal de corte, é a projeção da força de usinagem sobre a direção de corte;
- Força de avanço: Projeção da força de usinagem na direção de avanço;
- Força de apoio: Projeção da força de usinagem sobre a direção perpendicular à direção de avanço, situada no plano de trabalho;
- Força efetiva de corte: Projeção da força de usinagem sobre a direção efetiva de corte;
- Força passiva: Também conhecida por força de profundidade, é a projeção da força de usinagem sobre uma perpendicular ao plano de trabalho, não contribui para a potência de corte. Porém, é responsável pela deflexão elástica da peça e da ferramenta durante o corte, e conseqüentemente tem influência na obtenção de tolerâncias de dimensão e forma.

Através da análise de estudos recentes, é possível afirmar que existem sistemas capazes de medir potências de corte com excelente confiabilidade (KIM; JEON, 2011), desde a análise de elementos finitos até estudos experimentais devidamente calibrados validam o alto desempenho obtido por esses sistemas de medição de forças (ESPANHOL, 2008). É recomendado o estímulo de trabalhos científicos cada vez mais significativos sobre potências de corte, pois serão comumente adotados em máquinas-ferramentas

modernas, tendo assim resultados expressivos no que diz respeito a precisão e confiabilidade.

Stein et al. (1986) apresentaram uma dinâmica agrupada como modelo de parâmetro para caracterizar a corrente de um motor DC (*direct current*) de uma máquina-ferramenta CNC (comando numérico computadorizado), a corrente foi usada para calcular a força de corte e as forças associadas ao sistema de acionamento dos componentes.

Já, Kim e Jeon (2011) descreveram um sensor de força de corte alternativo que mede a corrente elétrica produzida no motor do sistema de alimentação e fuso através de um sensor de corrente de 9 (nove) canais para evitar o uso de dinamômetros com alto custo. Além disso, um modelo matemático em função das condições de usinagem também foi formulado para prever forças de corte.

O objetivo de interesse deste estudo é a potência de corte, que se relaciona com a força de corte (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006) através da seguinte Equação (1), também conhecida como Equação de Kienzle:

$$P_{teorica} = \frac{F_c \cdot V_c}{60} \quad (1)$$

Onde  $F_c$  é a força de corte dada em [N] e  $V_c$  é a velocidade de corte em [m/min]. Onde a  $V_c$  é calculada através da Equação (2):

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (2)$$

Sendo "d" o diâmetro da peça em [mm] e "n" a rotação do torno em [RPM].

A velocidade de corte é definida como sendo a velocidade com que o cavaco sai da ferramenta, ou seja, é a velocidade em que ocorre o corte. Ajustar a velocidade de corte corretamente é indispensável, visto que, em caso de erro por parte do operador pode causar risco de quebra, pois pode exceder o limite de segurança. Se a usinagem for com velocidade baixa demais pode resultar em baixa produção e alta rugosidade (FITZPATRICK, 2013). A força de corte também pode ser expressa pela Equação (3):

$$F_c = K_s \cdot A \quad (3)$$

Onde  $K_s$  é a pressão específica de corte [N/mm<sup>2</sup>] e  $A$  [mm<sup>2</sup>] é a área da seção de corte, dada pela Equação (4):

$$A = b \cdot h \quad (4)$$

A área da seção de corte [mm<sup>2</sup>] nada mais é do que o produto entre a espessura do cavaco e a largura do cavaco dados em [mm].

Também são apresentadas as equações de potência de usinagem [KW] e potência de avanço [kW] (FERRARESI, 1970), Equação (5) e (6) respectivamente:

$$P_u = V \cdot I \quad (5)$$

$$P_a = \frac{P_c}{4,5} \quad (6)$$

Sendo  $V$  tensão em [V] e  $I$  corrente em [A].

### 3 METODOLOGIA

O experimento foi realizado em duas etapas: na primeira realizou-se a usinagem sem fluido de corte. Na segunda etapa foi realizado o mesmo procedimento porém com adição de fluido de corte.

Foi utilizado um torno mecânico horizontal da marca Nardini modelo Mascote MS 205, conforme Figura 1, as especificações de seus motores encontram-se listadas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Dados do Torno mecânico

Motor principal	Moto-bomba de refrigeração de corte
6,3 a 4 CV (4,7 a 3 kW)	0,12 CV (0,09 kW)

**Fonte:** [http://www.nardinisa.com.br/site/wpcontent/uploads/2017/06/638\\_ms205.pdf](http://www.nardinisa.com.br/site/wpcontent/uploads/2017/06/638_ms205.pdf).

**Figura 1** - Torno mecânico MASCOTE utilizado no experimento



**Fonte:** Autores

Para o monitoramento da potência consumida pelo processo de usinagem, foi utilizado um amperímetro digital da marca Minipa modelo ET3200B para medir a corrente elétrica de uma fase e um multímetro digital da marca Hikari modelo HM 2030 para determinar a diferença de potencial entre as fases do motor. Sabendo que o motor é trifásico, obteve-se a potência consumida aparente do torno, como demonstra a Figura 2.

**Figura 2** - Medição da corrente e de tensão elétricas.



**Fonte:** Autores

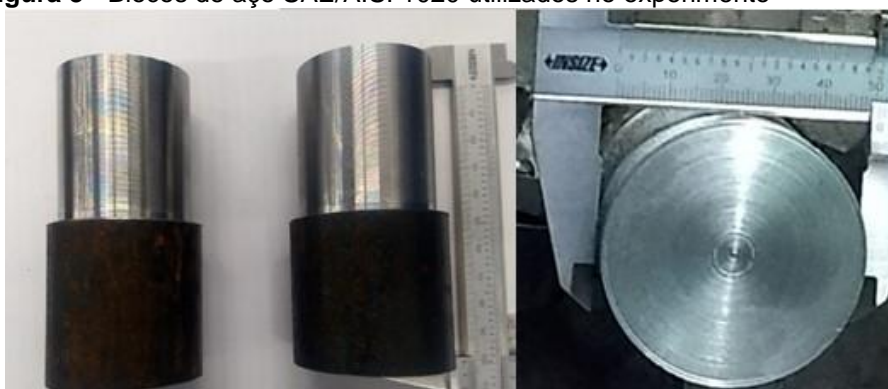
Para mensurar valores de potência de usinagem foi necessário medir a corrente elétrica requerida pela máquina-ferramenta acionando-a em vazio e

em operação de desbaste de material, e com isso pode-se obter à força de usinagem.

Apesar de o sistema por corrente ser relativamente de baixo custo (não necessita de uma instrumentação complexa), as variações na potência e no torque do motor possibilitam detectar apenas alterações consideravelmente grandes, assim sendo necessário adotar parâmetros de usinagem específicos para desbaste (considerados maiores do que os usuais na operação) pois parâmetros de usinagem para acabamento não forneceriam dados expressivos.

Utilizou-se dois blocos cilíndricos de aço SAE/AISI 1020 com diâmetro de 50 mm e comprimento de 100 mm como matéria prima, e que foram usinados com passes de 50 mm de comprimento, como mostra a Figura 3.

**Figura 3** - Blocos de aço SAE/AISI 1020 utilizados no experimento



Fonte: Autores

Foram realizados três passes sucessivos, conforme os parâmetros de usinagem especificados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Parâmetros de Usinagem

Parâmetro	Valor
Material	Aço SAE 1020
Número de Passes	3
Diâmetros por Passe	50, 48 e 46 mm
Rotação	500 RPM
$A_p$	1 mm
Ângulo de Posição	90 °
Percurso de Avanço (L)	50 mm
Avanço (f)	0,19 mm/volta



A ferramenta de corte utilizada na usinagem das amostras foi uma pastilha de metal duro intercambiável da marca Mitsubishi classificada pela ISO como TNMG160404-MA, como demonstrada na Figura 4.

**Figura 4** - Ferramenta de corte instalada



**Fonte:** Autores

Para cada amostra foram utilizadas arestas “virgens”, com intuito de que o desgaste da primeira amostra não influenciasse na usinagem posterior. Na amostra que foi usinada com fluido de corte, utilizou-se como fluido um óleo emulsionável da marca Siva Siroll solubilizado com relação de diluição de 1:10 em volume de água.

Santos e Sales (2007) indicam que, ao fazer uso de maiores velocidades de corte, a principal função do fluido é refrigerar, fazendo com que a temperatura média nas zonas de cisalhamento do cavaco seja reduzida. Com a redução do atrito externo aumenta-se o ângulo de cisalhamento, resultando em uma menor deformação e menor aquecimento em geral (FITZPATRICK, 2013). Neste trabalho foi realizado a medição da corrente elétrica da moto bomba de fluido de corte que foi subtraída para determinar a corrente elétrica da fase do motor principal do torno de usinagem.

Realizou-se a preparação do torno mecânico, ajustando a rotação de trabalho em 500 RPM e o avanço em 0,19 mm/volta. O bloco de aço foi fixado na placa (Figura 5) e submetido ao início do processo de 3 (três) passes consecutivos. Estes foram simultaneamente monitorados e os valores de

corrente e tensão elétricas coletados a fim de adquirir os dados necessários para determinar as potências de corte de cada amostra.

**Figura 5** - Bloco fixado na placa universal do torno



Fonte: Autores

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do procedimento realizado foi possível comparar as potências de corte entre si, com a potência média de avanço obtidas experimentalmente e com as potências calculadas a partir de equações teóricas. Ambas potências foram comparadas tanto no torneamento sem e com fluido de corte.

É importante observar que os fluidos de corte só proporcionam um máximo desempenho, com redução de custos e aumentam a produção se ocorrer a escolha correta do tipo de fluido (MOTTA; MACHADO, 1995), sendo que o mesmo necessariamente precisará atender às condições específicas de usinagem que lhe serão impostas.

A partir do equacionamento teórico foi possível calcular os valores da força de corte, potência de corte e potência de avanço para que posteriormente fossem comparados com os valores experimentais. Estes valores estão descritos na Tabela 3.

**Tabela 3** - Resultados teóricos da força de corte, potência de corte e potência de avanço

<b>Força e Potência</b>	<b>Valor Teórico</b>
Força de Corte	344,84 N
Potência de Corte	4,33 kW
Potência de Avanço	0,96 kW

A potência de corte teórica foi calculada a partir da Equação (1) proposta por Kienzle (FERRARESI, 1970). Conhecendo a relação entre potência, força e velocidade de corte, foi calculada a potência de corte experimental (com e sem a utilização de fluido de corte) a partir dos valores de tensão e corrente elétrica coletados durante o processo.

A Tabela 4 apresenta os valores das potências de corte experimental com e sem a utilização de fluido de corte.

**Tabela 4 - Potências Experimentais**

<b>Potências</b>	<b>Valor [kW]</b>
Em vazio com fluido	4,86
Em vazio sem fluido	4,78
Média com fluido	5,50
Média sem fluido	5,35

Foram comparados os valores das potências de corte experimentais com e sem a utilização de fluido de corte. Esta análise é muito importante pois comprova os benefícios da utilização do mesmo em processos de usinagem devido à diminuição das forças envolvidas.

As Tabelas 5 e 6 descrevem os valores das potências de corte com e sem a utilização de fluido de corte.

**Tabela 5 - Medições de usinagem com fluido de corte**

<b>Com fluido</b>	<b>Corrente [A]</b>	<b>Tensão [V]</b>	<b>Potência [kW]</b>
Primeiro passe	14,10	222	5,42
Segundo passe	14,30	223	5,52
Terceiro passe	14,40	223	5,56
Em vazio	12,52	224	4,86
Média	14,27	222,67	5,50
Desvio Padrão	0,66	0,50	0,24

**Tabela 6** - Medições de usinagem sem fluido de corte

<b>Sem Fluido</b>	<b>Corrente [A]</b>	<b>Tensão [V]</b>	<b>Potência [kW]</b>
Primeiro passe	13,80	222	5,31
Segundo passe	14,11	222	5,42
Terceiro passe	13,82	222	5,31
Em vazio	12,50	221	4,78
Média	13,91	222	5,35
Desvio Padrão	0,525	0,375	0,213

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que para a potência de corte teórica utilizando a equação de Kienzle (FERRARESI, 1970), obteve-se aproximadamente 4,33 kW de potência requerida. Através da usinagem ou método experimental obteve-se valores de potência superiores aos teóricos sugeridos por Kienzle que foram de 4,78 kW e 4,86 kW sem usinagem, ou seja com a placa girando em vazio, o que corresponde a um aumento de um pouco mais de 10% em relação a potência teórica.

Na operação com e sem fluido de corte ocorreu o inverso do esperado, a potência de corte com fluido foi maior que a potência de corte sem fluido. Deste modo observou-se que para a condição pouco severa de usinagem o fluido de corte não causou diferença significativa.

Também foi verificado que deveria ser descontado a potência requerida pela bomba de fluido de corte (0,09 kW) que interferiu na corrente de linha medida. Mesmo com a subtração desta potência o fluido de corte não causou diminuição significativa na potência requerida que tornasse a utilização de fluido de corte vantajosa.

É importante salientar que já está comprovado por diversas pesquisas e publicações científicas a diminuição das forças envolvidas nos processos de usinagem devido a facilitação da remoção do cavaco pela diminuição do coeficiente de atrito do mesmo com a peça.

Assim, por esse experimento concluiu-se que para condições não severas como produção de peças isoladas, com parâmetros de usinagem "econômicos" do ponto de vista da máquina operatriz, a utilização do fluido de corte não foi relevante para a redução do consumo energético requerido, porém, em processos de manufatura com parâmetros que possibilitem a fabricação em série, a redução energética é significativa.

Também vale salientar que a utilização do fluido, não apenas diminui o consumo instantâneo de energia elétrica, mas aumenta a vida útil da ferramenta de corte, diminuindo o tempo ocioso da máquina, que pode ser um fator crucial para o aumento da produção em manufaturas.

## **REFERÊNCIAS**

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. Artliber Editora, 2006.

ESPANHOL, V. **Análise dos esforços de corte e acabamento superficial no torneamento de aço com ferramenta de superfície lisa e com quebra-cavaco**. Dissertação de Mestrado. UFRGS, 2008.

FERRARESI, D. **Usinagem dos metais: Fundamentos da usinagem dos metais**. Edgard Blucher, 1970.

FITZPATRICK, M. **Introdução aos processos de usinagem**. Porto Alegre: AMGH, 2013.

GONÇALVES, P. S. d. C. **Boas práticas ambientais na utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2008.

KIM, D.; JEON, D. **Fuzzy-logic control of cutting forces in cnc milling processes using motor currents as indirect force sensors**. Precision Engineering, Elsevier, v. 35, n. 1, p. 143–152, 2011.

MACHADO, Á. R. et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher, v. 2, 2009.

MOTTA, M.; MACHADO, A. **Fluidos de corte: tipos, funções, seleção, métodos de aplicação e manutenção**. Revista Máquinas e Metais, n. 356, p. 44–56, 1995.

SANTOS, S. C.; SALES, W. F. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, v. 246, 2007.

STEIN, J. et al. **Evaluation of dc servo machine tool feed drives as force sensors**. *Journal of dynamic systems, measurement, and control*. American Society of Mechanical Engineers, v. 108, n. 4, p. 279–288, 1986.

Enviado em: 07 dez. 2018

Aceito em: 15 dez. 2019

Editor responsável: Mateus das Neves Gomes