

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Estimação da eficiência energética no torneamento utilizando o fator de potência

Michel Chagury¹, Neimar Sousa Silveira²; Italo Oliveira Almeida³; Humber Furlan⁴

Resumo – O fator de potência pode indicar a eficiência elétrica de um motor e a correlação autoriza a concluir que o fator de potência é indicador da eficiência elétrica em máquinas de usinagem mecânica. Este trabalho utiliza o fator de potência como referencial para a estimação da eficiência elétrica, no motor principal, em usinagens com torno. Foram obtidos dados a partir de medições realizadas no laboratório da Fatec-SP variando-se parâmetros de usinagem e seus reflexos nas potências ativa e reativa e no fator de potência. Os dados foram tratados estatisticamente para determinação de quanto cada parâmetro influenciou os resultados. Verificou-se assim que há uma correlação direta entre o aumento da demanda de potência e o aumento do fator de potência.

Palavras-chave: Fator de Potência, Usinagem, eficiência Energética.

Abstract - The power factor can indicate the electrical efficiency of an engine and the correlation allows the conclusion that the power factor is indicative of the electrical efficiency of the machining. This work uses the power factor as reference to estimate the electrical efficiency of the main engine in machining with lathe. Data has been obtained from measurements made in the machining laboratory of Fatec-SP with variations of machining parameters and their effects on the active and reactive powers and power factor. Data has been analyzed statistically in order to determinate how much each parameter has influenced the results. Therefore, a direct correlation between the increase in demand for power and the increasing power factor has been observed.

Keywords: Power Factor, Machining, Energy efficiency estimation.

¹ Pós CEETEPS – São Paulo, mchagury@terra.com.br

² IFSP – São José dos Campos, neimar@ifsp.edu.br

³ FATEC-SP – São Paulo, Italoalmeida1993@hotmail.com

⁴ Pós CEETEPS – São Paulo, humber@fatecsp.br

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.**1. Introdução**

Este trabalho visa avaliar a pertinência da utilização do fator de potência como um referencial numérico para a estimação da eficiência energética, do motor, em operações de usinagem com torno. Todo equipamento que transforma energia elétrica em outra forma de energia é um consumidor de energia ativa. Se este equipamento possuir enrolamentos e necessitar de um campo magnético como meio para funcionar, além da energia ativa, o equipamento opera com energia reativa (CREDER, 1986).

Sabe-se que a soma fasorial das potências ativa e reativa, resulta na potência aparente ou total. O fator de potência é definido como a relação entre a energia útil e a energia total, que é calculado a partir da razão entre a potência ativa e a potência aparente. Como o fator de potência designa a cada instante o ângulo de defasagem entre a corrente e a tensão, é também conhecido como “cos ϕ ” (ALBUQUERQUE, R.O.) (CREDER. 1986).

Os motores elétricos de indução superdimensionados ou operando em vazio envolvem praticamente a mesma potência reativa. Quando operando livre ou a plena carga a variação é pequena, mas exibem variação da potência ativa proporcionalmente à carga. Como o fator de potência é a razão entre ambas as potências, verifica-se que ao aplicar maior carga ao motor, o fator de potência diminui, uma vez que o denominador aumenta com a carga e o numerador se mantém constante. (SIMONE, 2000).

Um baixo fator de potência pode ser responsável pela sobrecarga de cabos e transformadores, aumentos de perdas no sistema, aumento das quedas de tensão e o aumento dos desgastes dos dispositivos de proteção e manobra. Nestes casos a energia reativa é inconveniente porque promove o aumento da corrente nos cabos de transmissão, ocupando sua capacidade de forma desnecessária, limitando assim sua capacidade de transporte. (CREDER, 1986)

Um fator de potência de 100% indica que o equipamento transformou a totalidade da energia consumida em trabalho. De acordo com a Resolução 414 de 09 de setembro de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, o fator de potência é um índice que mostra o grau de eficiência de um determinado sistema elétrico. As normas nacionais consideram satisfatório um fator de potência igual ou superior a 0,92 (Resolução ANEEL 456/2000). Paralelamente, para redução da quantidade de energia reativa as concessionárias impõem aos consumidores comerciais e industriais a correção do fator de potência quando necessário (Eletropaulo, Energia Reativa. 2015).

Em geral são utilizados bancos de capacitores para a correção do fator de potência. A instalação de bancos de capacitores em paralelo com a rede elétrica é o método mais difundido para a correção do fator de potência, o uso de motor

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

síncrono superexcitado também é uma alternativa, mas nem sempre é viável economicamente. (CREDER,1986).

No caso de operações de usinagem com tornos um maior fator de potência é obtido ao se evitar que os equipamentos operem em vazio ou com carga muito inferior à sua capacidade nominal. Em condições normais de trabalho o fator de potência revela a eficiência energética da operação. Modificando os parâmetros e condições da usinagem a eficiência do uso da energia se faz variar juntamente o fator de potência (Silveira, NS). Assim é possível, em uma operação de usinagem, a partir da medição do fator de potência, estimar qual a eficiência de trabalho apresentada pelo motor do torno.

Estabeleceu-se a influência dos principais parâmetros de usinagem no fator de potência por meio de ensaios de usinagem e das respectivas medições elétricas. Diante das conclusões deste estudo, pode-se então adequar as condições de usinagem tomando-se como referência o fator de potência para se obter um desempenho elétrico mais eficiente do motor já que com a variação dos parâmetros de usinagem, varia o torque e a rotação do equipamento e conseqüentemente do motor e dessa forma varia a sua eficiência energética. As conclusões também servem para estabelecer que como o fator de potência varia durante o processo de usinagem, a utilização de capacitores fixos junto à carga não o corrige totalmente.

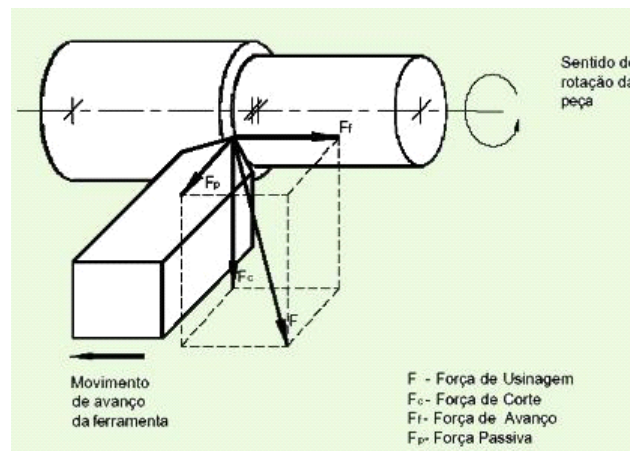
1.1 Potência de usinagem

De modo geral denomina-se usinagem o processo industrial que, pela ação de corte exercida por uma ferramenta, conferem à peça a forma, as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes itens, produzindo cavaco oriundo da retirada do material (FERRARESI, 1970).

A potência de usinagem é por definição o resultado das potências necessárias para cada componente da força de usinagem, levando em conta a força, velocidade e o cosseno do ângulo entre ambas (FERRARESI, 1970), (DINIZ, MARCONDES E COPPINI, 2013), (KRATOCHVIL, 2004) e (MACHADO et al., 2012). Essas potências estão relacionadas com as forças e direções atuantes durante a usinagem como mostra a figura 1.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Figura 1. A potência de corte representada em suas direções.



Fonte: (KRATOCHVIL, 2004).

Segundo Silveira (2014), o produto entre a força de corte (F_c) e a velocidade de corte (v_c) resulta na potência de corte e isso se deve a potência consumida para movimentar o eixo-arvore da máquina, e seu cálculo é dado na Eq. (1) :

$$P_c = F_c \cdot v_c \quad \text{Eq. (1)}$$

Potência ativa - Podemos definir potência ativa como energia que será utilizada e consumida, ao longo do tempo, que se transformará em trabalho útil, movimento, calor, luz ou ruído. A potência ativa é relativa ao consumo de energia uma vez que é proporcional à corrente e à tensão elétrica. Ao medir potência ativa adotamos como unidade de medida watts (W) ou quilowatts (KW).

Potência reativa - A potência reativa atua como responsável por criar e manter ativo o campo eletromagnético necessário ao funcionamento do motor e em razão do qual haverá uma troca energética entre o gerador de energia e a carga. Esta energia trocada entre carga e gerador não gera trabalho, mas ocupa o sistema de transmissão elétrica com uma corrente que não pode ser convertida em trabalho no eixo do motor. Sua medida é feita em Volts-Amperes-Reativos (VAR).

O fator de Potência - O fator de potência pode ser tomado como um índice a partir do qual se pode analisar a eficiência do uso da energia pelo motor em relação à carga. Diante os conceitos de potência ativa e potência reativa, pode-

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

se entender fator de potência como aquele que aponta quanta energia foi utilizada no trabalho e quanta foi utilizada para a magnetização.

A ineficiência energética é sinônimo de energia mal aproveitada e que pode resultar em uma série de consequências tais como elevação da tarifa de energia, diminuição da vida útil das instalações, aquecimento dos condutores e perdas de energia dentro da instalação consumidora. Porém diagnosticados tais desperdícios há possibilidade de correção do fator de potência. O valor mínimo exigido pela norma nacional para o aproveitamento da energia elétrica é de no mínimo 92% da potência total de uma instalação (Res. ANEEL 456/2000).

Portanto, o fator de potência (FP) é a relação entre a potência ativa (W) e a potência aparente (VA), conforme a Eq. (2), que compreende a soma fasorial da potência ativa com a potência reativa (VAr) e indica a diferença do consumo aparente (VA) e o consumo útil (W) e tem influência direta na análise da eficiência energética de máquinas e equipamentos. Segundo (LOWENSTEIN et al., 2003) a eficiência energética do sistema é a razão entre a potência fornecida e a energia consumida e o indicador em potencial é o fator de potência.

$$FP = \text{Pot. Ativa} / \text{Pot. Aparente} \quad \text{Eq. (2)}$$

2. Método

Os ensaios foram realizados no laboratório de CNC da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP), e os procedimentos serão detalhados a seguir.

2.1 máquina ferramenta

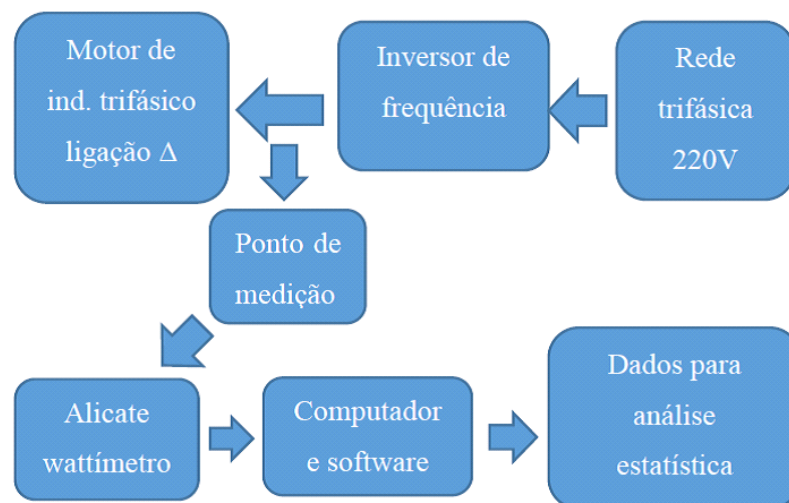
Para realização dos ensaios utilizou-se um torno CNC modelo Hardinge GS-150, com potência nominal de 11kW ou 14,95cv, torque de 175 N.m e rotação máxima do eixo-árvore de 6000 rpm com comando numérico computadorizado Siemens/840D Control. O sistema elétrico é trifásico de 220V, com corrente máxima total de 35A e do circuito interno de 32A, a tensão do controle no circuito é 110V AC – 60Hz. O comprimento máximo para torneamento é de 340mm e o magazine de ferramentas é automático com capacidade para 12 ferramentas.

2.2 alicate wattímetro digital

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Foi utilizado, para aquisição dos sinais elétricos, o alicate Wattímetro, Minipa® modelo ET- 4091, para realizar medições de potência ativa, aparente e reativa representado no processo da **figura 2**. Conhecido também por alicate wattímetro, é um sensor de indução eletromagnética que funciona de forma análoga a um transformador. O campo magnético que varia no condutor, provoca um campo magnético que também varia e este, passando por uma bobina, provoca a indução de uma força eletromotriz. Essa força eletromotriz é lida por um circuito eletrônico onde é visualizada a corrente resultante nesse determinado circuito.

Figura 2. Diagrama do processo de aquisição de dados



Fonte: Silveira (2014)

Procedeu-se com a usinagem variando-se de forma aleatória os seus principais parâmetros, avanço, profundidade de corte, rotação, classe de ferramenta, raio de ponta, um a cada vez e de modo combinado e foram tomadas medições elétricas cujos resultados foram tratados matematicamente no software estatístico Minitab®16 para se determinar a intensidade da sua influência no fator de potência e conseqüentemente na eficiência do motor principal do eixo árvore.

As variáveis dependentes de respostas foram: potência ativa, potência reativa, potência aparente e o fator de potência. Os passos ocorreram de forma aleatória para que o ensaio não ficasse em uma condição tendenciosa que causasse influência nos resultados como, por exemplo, devido a erros sistemáticos.

3. Resultados e Discussão

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

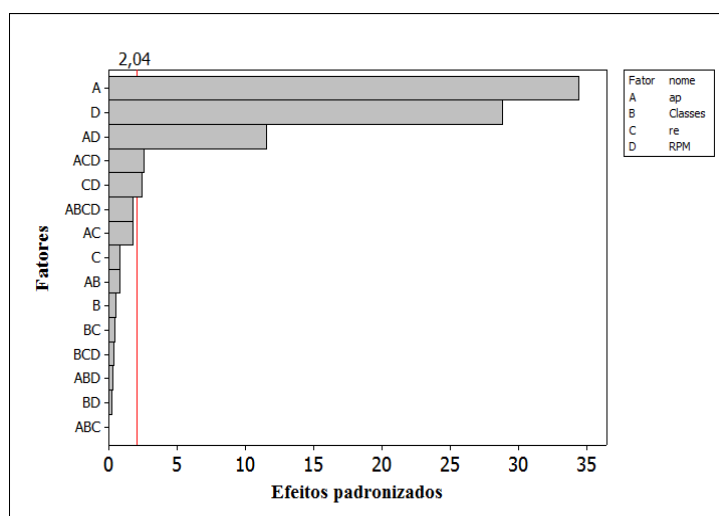
O principal efeito relativo ao fator de potência em função do avanço, é que em profundidades de cortes menores o fator de potência é baixo, comprometendo a eficiência energética do sistema. Ao passo que, aumentando-se a profundidade de corte, o fator de potência cresce e com isso a tendência é de melhor eficiência energética.

Com o aumento da profundidade de corte, a potência solicitada se eleva e com ela o fator de potência. A mesma correlação está presente em todos os fatores que implicam aumento de demanda de potência. Este fenômeno do aumento do fator de potência ocorre de modo consistente com o aumento da demanda de potência variando-se cada um dos fatores individualmente ou de modo combinado.

O aumento da demanda de potência mecânica está relacionado com o aumento de carga de trabalho do motor e conseqüentemente com a potência elétrica ativa, figura 3. Portanto, aumentar a potência ativa significa aumentar o fator de potência, figura 5, e portanto a eficiência elétrica do motor.

Os dados obtidos foram utilizados no Diagrama de Pareto, que permitiu analisar graficamente o nível de influência que os parâmetros, isolados ou combinados, apresentaram em relação ao estudo, em conformidade com as figuras 3, 4 e 5. Elementos com valores inferiores à linha vermelha não exerceram influência nos resultados, valores superiores revelam o grau de influência no resultado.

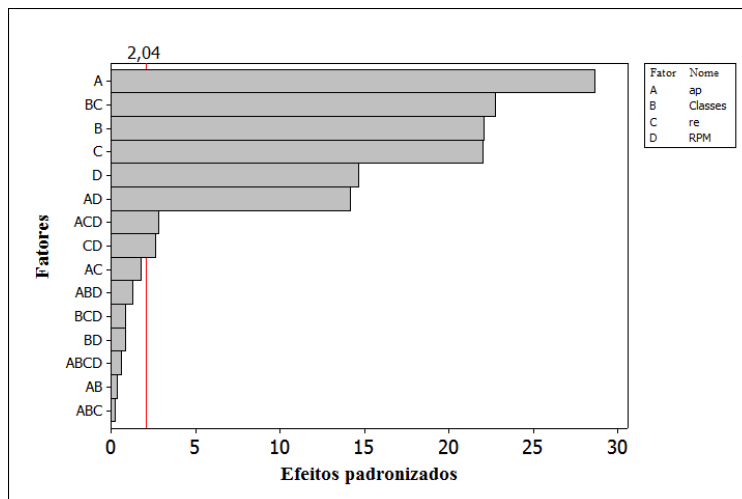
Figura 3 – Potência ativa - Gráfico de Pareto, com fatores e efeitos padronizados. Legenda, figuras 3, 4 e 5: A - avanço (ap), B - classes de ferramentas (classes), C - raio de ponta (re), D – variação da rotação (RPM) e combinações.



Fonte: (SILVEIRA, 2014)

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

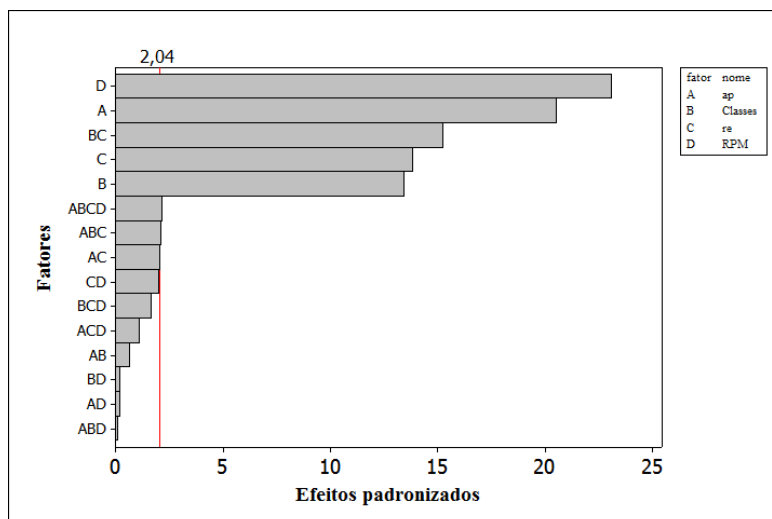
Figura 4 – Gráfico de Pareto, com fatores e efeitos padronizados (potência reativa)



Fonte: (SILVEIRA, 2014)

Com relação à potência reativa nota-se, comparando a figura 4 com a figura 3, que ela sofre maior variação que a potência ativa.

Figura 5 – Gráfico de Pareto, com fatores e efeitos padronizados (fator de potência).



Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Fonte: (SILVEIRA, 2014)

3. Considerações finais

É pertinente a utilização do fator de potência como um referencial numérico para a estimação da eficiência energética, do motor, em operações de usinagem com torno.

A análise dos resultados revela de forma consistente que a potência ativa e a potência reativa aumentam ligeiramente com a demanda de potência mecânica do motor, mas aumentam de forma diferenciada, pois ocorre um aumento maior da potência ativa e um aumento menor na potência reativa. Este aumento diferenciado das potências com o aumento da demanda de potência mecânica leva a um aumento do fator de potência. Como o fator de potência aumenta com a demanda de carga, em termos de rotação e profundidade de usinagem, para uma maior eficiência energética é recomendável a utilização da maior carga possível suportada pelo motor até seu limite nominal.

Esta relação entre o aumento das potências ativa e reativa com o aumento da demanda de potência e com o fator de potência autoriza a concluir que o fator de potência serve como indicador da eficiência elétrica decorrente dos parâmetros de usinagem que em última instância, determinam a carga a que o motor do torno é submetido.

Observou-se que a potência ativa e o fator de potência são os fatores mais afetados com a variação da demanda de potência por apresentarem as variações mais significativas. A potência reativa e o fator de potência foram capazes de detectar variações decorrentes da mudança da classe da ferramenta e de seu raio de ponta, fatores cujos efeitos não puderam ser detectados por outros parâmetros a não ser o fator de potência que indica a que percentual de carga está submetido o motor.

Referências

ALBUQUERQUE, R.O. **Análise de circuitos em corrente alternada**, 2 ed. São Paulo: Érica, 2007.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Metais**, 6 ed. São Paulo, Ed. Arttliber, 2008, 255 p.

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**, 12 edição, São Paulo, ed. Edgard Blucher, 1970, 800 p.

FERREIRA, A.L.A.S.; BRUM, O.F.; PANERAI, R.B. **Cross correlation of Dopler and electrical impedance signals**: Proceedings of the Sixty Annual Conference IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 15-17 Sept. 1984. [Frontiers of Engineering and Computing in Health Care], Los Angeles, p. 772-777.

KRATOCHVIL, R. **Fresamento de acabamento em altas velocidades de corte para eletrodos de grafita industrial**, 2004. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de pós-graduação em engenharia mecânica.2004

LOWENSTEIN, M. Z., **Electrical Measurement, Signal Processing, and Displays**, Edited by John G. Webster, CRC Press, 2003

MACHADO, A. R. et al, **Teoria da usinagem dos materiais**, 3 edição, São Paulo, ed. Edgard Blucher, 2012, 408 p.

SILVEIRA, N. S. et al. **Avaliação da potência consumida no torneamento da Liga de Alumínio 2011F (Al-Cu)**. 2014, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM, Uberlândia, MG, 2014.

_____. **Utilização do fator de potência como indicador da eficiência energética no torneamento da liga de alumínio 2011F (Al-Cu)**, Dissertação de mestrado, 2014) - Dissertação apresentada na pós-graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. 2014

SIMONE, G. A. **Máquinas de indução trifásicas : Teorias e exercícios**, São Paulo, ed. Érica, 2000. 328 p.