

Eficiência Energética dos Motores Elétricos Trifásicos Tipo Gaiola no Processo de Moagem na Indústria de Revestimentos Cerâmicos

Reginaldo Tassi^a, Elzio Cittadin da Rosa^a, Frank Willian Bernardino^a, Vilson Menegon Bristot^{b*}, Leopoldo Pedro Guimarães Filho^b

^aInstituto Maximiliano Gaidzinski, Cocal do Sul, SC, Brasil

^bNúcleo de Estudos em Engenharia de Produção, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

*e-mail: vilson.bristot@gmail.com

Resumo

O estudo consistiu na avaliação da eficiência energética de motores de indução trifásicos do tipo gaiola, no setor de moagem da preparação de massa em uma indústria de revestimentos cerâmicos. Para a realização deste estudo, foram levantadas e analisadas as características nominais de motores utilizados em moinhos de matéria prima, assim como a realização de testes elétricos nesses motores para obtenção de dados reais. Com os dados obtidos, uma amostra de dois motores foi escolhida para comparação dos seus rendimentos, fator de potência, correção do fator de potência e o custo x benefício mostrando assim quais as vantagens e fatores que podem influenciar na eficiência energética destes motores.

Palavras-chave: motores elétricos, rendimento, fator de potência.

1. Introdução

A indústria de revestimentos cerâmicos possui um conjunto de etapas para a fabricação das placas cerâmicas. A etapa de preparação de massa por via úmida consiste na mistura de 33% água e 67% de várias matérias primas sólidas como argila, materiais fundentes, talco entre outros. Mistura essa que ocorre em moinhos movidos por motores elétricos.

Os custos com energia elétrica são consideráveis no setor devido à alta potência e da quantidade de motores elétricos utilizados nesta etapa do processo. Grande parte da energia elétrica gasta no processo é transformada em energia mecânica, pela ação dos motores elétricos, porém nesta transformação ocorrem perdas. Uma das principais perdas se dá na geração da energia reativa ou “potência reativa”. A potência reativa não gera trabalho, porém tem a função de induzir campos eletromagnéticos necessários para o motor funcionar. Essa energia deve ser compensada com o uso de capacitores e será paga sem que gere trabalho para a indústria.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo estudar métodos para atenuar as perdas de energia geradas nesta etapa do processo da indústria cerâmica.

2. Fundamentação Teórica

Em uma indústria de revestimentos cerâmicos várias máquinas realizam o processo de fabricação das placas cerâmicas. As principais etapas e máquinas que fazem parte deste processo estão descritas no fluxograma da Figura 1.

2.1. Preparações de massa

A preparação de massa é a etapa do processo da indústria de revestimentos cerâmicos, no qual matérias primas como argilas, feldspato, talco entre outros são

colocados juntamente com bolas de alta alumina e água, numa proporção de 33% de água e 67% de material sólido, em grandes moinhos com capacidade de 26 mil litros.

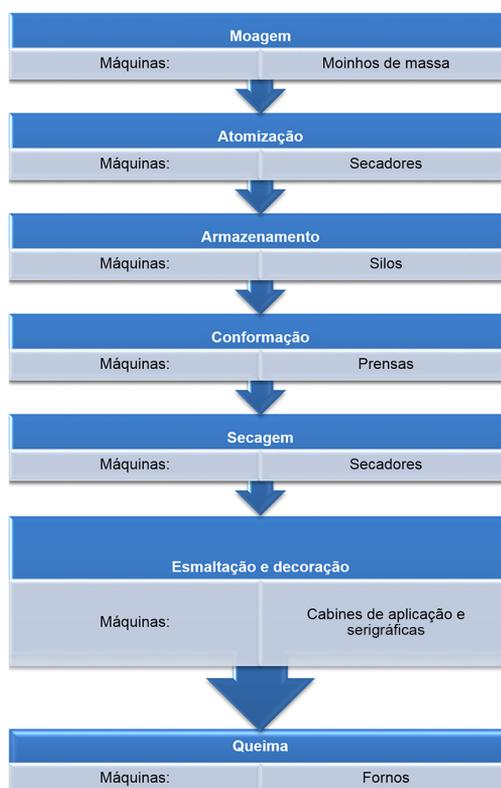


Figura 1. Fluxograma das etapas do processo e máquinas da indústria de revestimentos cerâmicos. Fonte: Autor.

Moinhos esses que necessitam de motores de grande potência (125 Cv), para funcionarem adequadamente como mostra a Figura 2, o que faz deste setor onde se concentram a maior quantidade de motores de alta potência em uma indústria de revestimento cerâmico.

2.2. Motores elétricos

Motores elétricos são máquinas que transformam a energia elétrica em energia mecânica, geralmente por meio de um eixo em rotação. Existem diversos tipos de motores elétricos, esses motores podem ser divididos em grupos conforme o tipo de corrente que usam, como os de corrente contínua os de corrente alternada e os universais. Um dos motores mais utilizados pelas indústrias é o motor de corrente alternada do tipo gaiola. Segundo Filippo Filho¹: “Estima-se que mais de 90% dos motores elétricos utilizados nos setores industrial, comercial, rural e residencial são motores de indução com rotor de gaiola [...]”

2.2.1. Motores de indução tipo gaiola

São motores de corrente alternada, assíncronos. Motores de indução são formados de duas estruturas básicas, rotor e estator.

Estator: representado na Figura 3, é construído com chapas finas de aço magnéticas termicamente tratadas para redução de perdas por corrente parasita e histerese. O estator possui ranhuras onde são colocados os enrolamentos de fio, responsável pela criação de um campo magnético girante quando energizado.

Rotor: é composto de chapas finas de aço magnéticas termicamente tratadas, interligadas em suas extremidades por anéis de curto circuito conforme mostra a Figura 4.

2.2.2. Especificações nominais

São as principais características que um motor apresenta. São os dados a ser consultados quando se dimensionar um motor. A Tabela 1 mostra as principais especificações de motores elétricos trifásicos.

Tabela 1. Especificações nominais de motores elétricos trifásico.

Dados	Descrição	Un
Potência (P):	Potência fornecida no eixo do motor	Cv kW
Rotação:	Velocidade de giros do eixo do motor	Rpm
Tensão (E):	Tensões de alimentação do motor	V
Corrente (I):	Corrente do motor em sua plena carga	A
Ip/In:	Divisão entre: corrente de partida e nominal	-
Fator de potência: (cosφ)	Ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente	-
Rendimento (η)	Transformação de energia elétrica em mecânica.	%

Fonte: WEG Motores².



Figura 2. Moinho preparação de massa. Fonte: Autor.

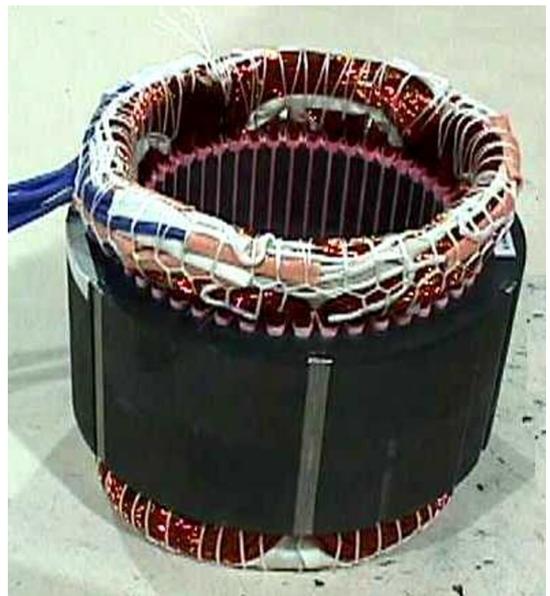


Figura 3. Estator - motores de indução. Fonte: WEG Motores².



Figura 4. Rotor - motores de indução gaiola. Fonte: WEG Motores².

2.2.3. Rendimento

O rendimento de um motor elétrico está diretamente ligado as suas perdas, tanto elétricas como mecânicas. É a relação direta entre a potência de entrada e a potência fornecida no eixo do motor elétrico.

É importante que um motor tenha um rendimento alto, pois fará com que ele tenha um menor aquecimento e também indicará que ele estará aproveitando melhor a potência da rede elétrica, indicando uma economia nos gastos com energia elétrica.

O rendimento de um motor dependerá principalmente da carga exigida do motor e das suas especificações, ou seja, quanto mais próximas as especificações e a carga estiverem das nominais, maior será seu rendimento. Com a potência (P), tensão (V), corrente (I), fator de potência (cos φ) e utilizado a Equação 1, pode-se identificar o rendimento (η) de um motor elétrico.

$$\eta_{(\%) = \frac{736 \cdot P(\text{cv})}{\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi} \cdot 100 \quad (1)$$

2.2.4. Fator de potência

Em um motor elétrico existe uma defasagem entre os ângulos da tensão e da corrente que circulam pelas suas bobinas, representada na Figura 5. Essa defasagem entre tensão (U) e corrente (I) é criada, pois um motor não consome somente potência ativa, mas também potência reativa. Potência esta necessária para criação de campo magnético, indispensável para o funcionamento de um motor. O fator de potência é exatamente a relação entre a potência de entrada e de saída de um motor elétrico

Nos motores elétricos o fator de potência é representado pelo cos φ, esse valor representa o ângulo de defasagem entre a potência ativa, reativa e aparente. Formando um triângulo de potências representadas na Figura 6. O valor

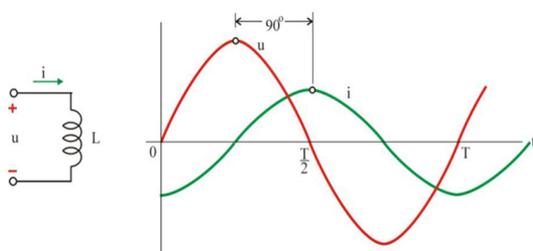


Figura 5. Defasagem entre corrente e tensão. Fonte: UFPEL³.



Figura 6. Relação entre potências. Fonte: Autor.

desse ângulo está diretamente ligado a carga do motor que deve estar sempre próxima a nominal. A Equação 2 representa a relação do ângulo entre as potências ativa (P) e aparente (S), a Equação 3 representa a relação do ângulo entre as potências reativas (Q) e aparente (S), a Equação 4 representa a relação entre as potências ativa (P) e reativa (Q).

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{P \cdot (kW) \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot V \cdot I} \quad (2)$$

$$\sin \phi = \frac{Q}{S} \quad (3)$$

$$\tan \phi = \frac{Q}{P} \quad (3)$$

2.3. Legislação

O fator de potência não interfere diretamente nos gastos com energia elétrica, pois os medidores de potência registram apenas a potência ativa e não a aparente (relação entre potência ativa e reativa), Porém indústrias com grande quantidade de motores e que apresentam fator de potência baixo são multadas pelas concessionárias de energia elétrica.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010 art. 95 e 96 define que: “O fator de potência indutivo ou capacitivo tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras do grupo A, ou seja, unidades com fornecimento em tensão igual ou superior 2,3 kV, o valor de 0,92⁴. A Tabela 2 exemplifica como é feito o controle do fator de potência.

2.4. Correção do fator de potência

Correção efetuada para manter o fator de potência dentro das normas imposta pela legislação. Essa correção é feita utilizando capacitores, que podem ser instalados tanto na alta como na baixa tensão, formando assim um banco de capacitores. Porém é mais recomendado a correção na baixa tensão pela possibilidade de automatização da correção, evitando que o fator de potência se torne capacitivo como demonstrado na Figura 7.

Para se dimensionar um banco de capacitores (Q) se utiliza à Equação 5, com o auxílio da Tabela 3 para se obter o valor de Δtgφ e da Tabela 4 para se obter o

Tabela 2. Exemplos de controle de fator de potência.

Limite de fator de potência noturno	Horário noturno de 6 horas	Limite de fator de potência diurno	Horário diurno
0,92 capacitivo	23:30~5:30	0,92 indutivo	5:30~23:30
	0:00~6:00		6:00~24:00
	0:30~6:30		6:30~24:30

Fonte: WALENIA⁵.

rendimento (η). Os dados das Tabelas 3 e 4 são referentes a um motor elétrico trifásico de CA com potência (P) de 125 CV e 4 pólos.

$$Q_{capacitor} = \frac{P_{(kW)ativa}}{\eta} \cdot \Delta t g \phi \quad (5)$$

3. Procedimentos Experimentais

O Fluxograma da Figura 8 representa as etapas do desenvolvimento do trabalho prático.

Para demonstrar a importância do fator de potência e rendimento em motores elétricos, foram analisados



Figura 7. Banco de capacitores. Fonte: Autor.

Tabela 3. Características típicas motores IP55.

% carga	50%	75%	100%
Rend.	89,3	91,0	91,8
Cos ϕ	0,80	0,85	0,87

Fonte: WEG Motores².

Tabela 4. Fator multiplicador

FP Atual	Fator de potência desejado		
	91	92	93
77	0,373	0,403	0,434
86	0,111	0,141	0,173

Fonte: WEG Motores².

20 motores elétricos que tracionavam moinhos de massa em uma indústria de revestimentos cerâmicos. A Figura 9 mostra a placa com as especificações nominais destes motores. Para este procedimento foi utilizado um medidor de grandezas elétricas demonstrado na Figura 10, o qual foi conectado nas três fases que alimentam o motor, com ele acionado e retirado os dados da leitura.

Dentre os motores analisados foram escolhidos dois motores. O primeiro operando com 100% da carga nominal, e o segundo operando com uma carga com 50% da nominal. Os dados obtidos estão representados na Tabela 4 e 5.

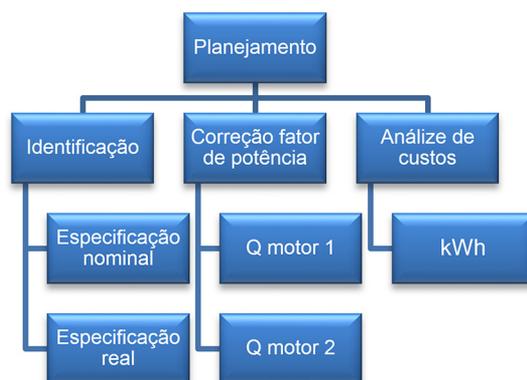


Figura 8. Planejamento prático. Fonte: Autor.

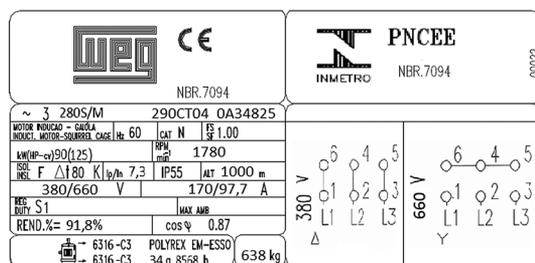


Figura 9. Placa de motor elétrico. Fonte: WEG Motores².



Figura 10. Medidor de grandezas elétricas. Fonte: FLUKE⁶.

Tabela 4. Dados do motor elétrico 01.

Fase:	Motor 01		
	R	S	T
Tensão F/N:	222,7 V	224,7 V	223,0 V
Corrente:	155,7 A	151,7 A	163,2 A
Potência ativa:	30,86 kW	28,56 kW	30,72 Kw
Fator de potência:	0,87 cos ϕ	0,84 cos ϕ	0,84 cos ϕ
Potência reativa:	17,25 kVar	18,00 kVar	20,07 kVar
Rendimento:	91,8%		

Fonte: Autor.

Tabela 5. Dados do motor elétrico 02.

Fase:	Motor 02		
	R	S	T
Tensão F/N:	230,0 V	229,9 V	230,4 V
Corrente:	87,6 A	89,0 A	88,7 A
Potência ativa:	16,46, kW	16,99 kW	16,87 Kw
Fator de potência:	0,77 cos ϕ	0,78 cos ϕ	0,78 cos ϕ
Potência reativa:	12,77 kVar	13,07 kVar	12,83 kVar
Rendimento:	89,3%		

Fonte: Autor.

3.1. Correção do fator de potência dos motores analisados

A fim de elevar o fator de potência, dos motores 1 e 2, até níveis aceitáveis por lei, utilizando-se a Equação 5 foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 6.

Pode-se observar analisando a Tabela 5, que é necessário um capacitor de 13,82 kVar para o motor 1, já o motor 2 necessita de um capacitor ainda maior de 24,82 kVar. No entanto comercialmente não existem capacitores de tal potência, sendo assim os capacitores a serem usados são de 15 kVar para o motor 1 e 25 kVar para o motor 2.

4. Resultados e Discussões

Com base nos dados obtidos dos motores analisados, pode-se comparar os seus desempenhos no que se refere a suas potências, como demonstra o gráfico da Figura 11.

4.1. Relações custo \times benefício

Com a potência ativa de cada motor somada a potência reativa corrigida pelos capacitores pode-se identificar a potência energética a ser tarifada. Como mostra a Tabela 7.

Tendo como base uma tarifa cobrada de R\$: 0,17 kW/h, pode-se calcular os gastos horários destes motores. Como apresentado no gráfico da Figura 12.

Mesmo que aparentemente o motor 2 possua menor custo, se compararmos os gastos com a potência realmente utilizada, pode-se verificar no gráfico da Figura 13 que o motor 1 tem um melhor custo benefício. Como mostra o gráfico da Figura 13.

O custo \times benefício, entre a correção de fator de potência dos motores analisados também é considerável. Para correção do motor 1 é necessário um capacitor de 15kVar no valor de R\$ 236,13, já o motor 2 necessita de

Tabela 6. Correção Fator de potência.

	Cos ϕ atual	Cos ϕ desejado	Capacitor
Motor 1	0,87	0,92	13,82 kVar
Motor 2	0,77	0,92	24,82 kVar

Fonte: Autor.

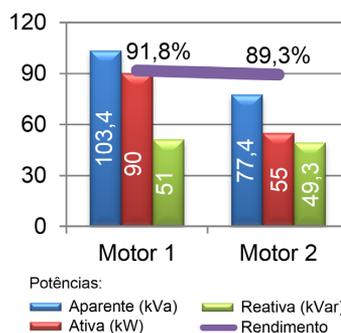


Figura 11. comparação entre potências dos motores 1 e 2. Fonte: Autor.



Figura 12. Gastos (R\$ / h) por motor. Fonte: Autor.

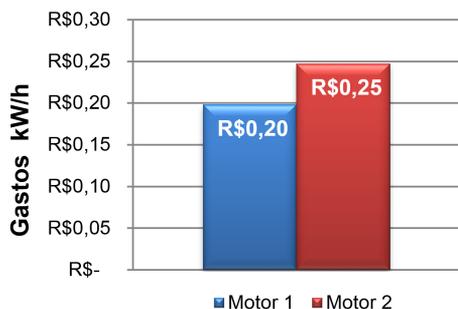


Figura 13. Gastos reais com potência ativa / hora. Fonte: Autor.

Tabela 7. Potência tarifada.

Potência	Motor 1	Motor 2
Ativa (kW)	90	55
Capacitor (kVAr)	15	25
Total (kVa)	105	80

Fonte: Autor.

um capacitor de 25kVar com o preço de R\$ 405,30. Caso a empresa deixe de corrigir o fator de potência, por lei, ela pode ser obrigada a pagar uma multa equivalente ao fator de potência defasado e a pela potência reativa excedente. Multa essa que no caso do motor 1 pode representar um aumento no seu custo horário na ordem de 28%, e o motor 2 essa multa pode ser ainda maior chegando a 45% de aumento no custo horário deste motor

Pode-se também ressaltar que a produção de matéria prima do motor 1 pode ser até 20% maior, em relação ao motor 2.

5. Conclusões

Com o término desse trabalho, pode-se perceber que o desempenho de um motor elétrico está ligado diretamente ao seu dimensionamento. Um motor operando a baixo de sua carga nominal gera mais gastos com energia elétrica e com a correção de seu fator de potência, se comparado a um motor operando com carga nominal.

Referências

1. FILIPPO FILHO, G. **Motor de indução**. São Paulo: Érica, 2000. 243 p.
2. WEG Motores. **Manual do motor elétrico**. Jaraguá do Sul. 81 p.
3. NEVES, E. G. C., MÜNCHOW, R. **Eletrotécnica**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2010. 92 p. v. 1.
4. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Brasília. Disponível em: <www.aneel.gov.br/.../livros/REN_414_2010_atual_REN_499_2012>. Acesso em: 23 jun. 2014
5. WALENIA, P. S. **Projetos elétricos industriais**. 22. ed. Curitiba: Base Editorial, 2010. 312 p.
6. FLUKE. Disponível em: <www.fluke.com>. Acesso em: 23 jun. 2014.