

Motores Mais Eficientes e Sustentáveis: Estudo de Caso em Uma Indústria de Cimento Visando a Sua Gestão Energética

Efficient and Sustainable Engines: Case Study of a Cement Industry Aiming at Energy Management

Lara C. Ramos,^a Felipe S. Stopiglia,^a Miriam T. de Gouvêa,^b Daniela H. P. Guimarães,^c Arthur L. B. Dias,^d Maria Thereza de M. G. Rosa^{a,*} 

^a Universidade Presbiteriana Mackenzie, Centro de Ciências e Tecnologia, Campus Campinas, CEP 13073-148, Campinas-SP, Brasil.

^b Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia, Campus São Paulo, CEP 01302-907, São Paulo-SP, Brasil.

^c Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Campus de Lorena, CEP 12602-810, Lorena-SP, Brasil.

^d Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia de Alimentos, CEP 13083-862, Campinas-SP, Brasil.

*E-mail: maria.rosa@mackenzie.br

Recebido em: 2 de Abril de 2021

Aceito em: 16 de Abril de 2021

Publicado online: 22 de Setembro de 2021

The present research focused on the analysis of engines used by a cement industry. PROCCEL's Mark IV Plus software was used to optimize the data obtained by a cement industry, providing the energy losses of each engine. This work also presents the payback period obtained by the acquisition of new engines and the feasibility of exchange. The investment in new engines proved to be viable and interesting for the cement industry, since it was observed an electricity saving with all the replacements. The replacement with engines WEG of M-1, M-5, M-12, M-16, M-18, M-19 and M-20 presented an annual saving with energy losses of R\$14,650.00 and the industry would obtain the investment back in approximately 2 years, which demonstrated the feasibility of the replacement. The Voges M-15 engine, which is more expensive, showed the greatest reduction in energy losses, which would lead the company to save R\$ 8,600.00 annually. The energy distribution concessionaires together with the government have been encouraging energy efficiency through engine exchange programs, providing discounts to industries that want to optimize their equipment. Technological innovations have been improving the performance of electric motors with increased efficiency and service factor, launching more efficient and sustainable equipment lines.

Keywords: Energy efficiency; electric motor; cement industry

1. Introdução

As indústrias de modo geral necessitam de altas quantidades de energia, elétrica ou térmica. Diversas empresas estão se conscientizando para reduzir o consumo de energia, para diminuição de gastos e redução dos impactos ambientais. Além disso, muitas conferências para redução de consumo energético estão ocorrendo, abrangendo diversos países com criação de novas leis e certificações ambientais.

A quantidade de energia consumida nas etapas de fabricação do cimento está em torno de 20% a 40% do preço total da produção de cimento.¹ A produção de cimento necessita de um grande consumo de energia térmica e elétrica, devido às altas temperaturas durante o processo de fabricação.² Aproximadamente 90% da energia utilizada é obtida por meio da queima de combustíveis, e os outros 10% é de energia elétrica.³ O consumo das fontes de energia na indústria de cimento no Brasil é dividido em: 76% de coque de petróleo, 10,9% de eletricidade, 8,3% outras não especificadas, 1,5% de carvão vegetal, 1,3% de óleo diesel, 1,2% de carvão mineral, 0,6% de gás natural e 0,3% de óleo combustível.⁴

Existem algumas dificuldades que atrapalham a execução dos projetos de eficiência energética. As principais dificuldades são relacionadas a falta de tecnologias eficientes para o uso de energia, principalmente em países subdesenvolvidos, produtos com qualidade baixa, com desempenho baixo, falta de conhecimento por parte dos fabricantes e a falta de financiamento para projetos de eficiência energética.⁵

Em países desenvolvidos como os Estados Unidos da América, já são utilizados *softwares* gratuitos para simular e racionalizar o consumo de energia nas indústrias.⁶ No Brasil, existem diversos *softwares* gratuitos para controle energético, todavia, essa prática não é muito utilizada ainda no país. Essa questão deve ser mudada, já que é de extrema importância efetuar uma gestão energética das fábricas, visando à diminuição da poluição e dos gastos com energia.

Com o emprego da análise energética é possível aumentar a produção do cimento Portland e reduzir os gastos, com uma menor perda de energia útil e maior eficiência dos equipamentos.

A proposta de uma indústria de cimento visando à gestão energética, com o emprego de equipamentos eficientes e sustentáveis, é importante para a sociedade e para um futuro melhor do planeta. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi investigar a quantidade de energia dissipada pelos motores de alguns equipamentos utilizados na fabricação de cimento Portland e propor a substituição por motores mais eficientes, comparando os dados obtidos utilizando o *software* Mark IV Plus da PROCEL.

2. Material e Métodos

Informações sobre os motores empregados na fábrica de Cimentos do Ceará foram analisadas por meio do *software* Mark IV Plus. Os dados coletados foram a data de instalação do motor, o fabricante, o modelo, a carcaça, a forma construtiva, a potência, a rotação, o número de pólos, a frequência, o fator de serviço, o tipo de motor (sendo que todos eram de rotor de gaiola), o regime de serviço, o rendimento, os mancais, o fator de potência, o grau de proteção, a classe de isolamento, o sistema de refrigeração, o peso e as dimensões do motor, com imagens ilustrativas.

Os motores analisados eram relacionados aos processos de: descarregamento de clínquer na unidade da fábrica (motores F1), dosagem de matérias-primas (motores G1), moagem de matéria-prima e separação do cimento (motores Z1), estocagem em silos de cimento (motores P1A) e ensacamento (motores P1), conforme é apresentado na Figura 1.

Foi necessária a alimentação dos seguintes dados no *software*: corrente nominal, potência nominal, unidade da potência, fases, rotação, fator de serviço, rendimento, fator de potência e tipo de carga. Foi realizada uma análise dos resultados obtidos por meio do *software*, que forneceu as perdas de energia de cada motor, e posteriormente, analisou quais desses equipamentos poderiam ser substituídos para melhor satisfazer as questões energéticas e ambientais, buscando motores mais novos e modernos existentes no mercado para a comparação de dados. Por meio desses valores, foi possível analisar se as condições dos motores

estavam adequadas e se existia no mercado algum motor mais eficiente, com melhor desempenho e que tivesse menor perda de energia. Os motores analisados foram de três marcas diferentes, além de serem utilizados pela fábrica desde 2009.

Por meio dos sites dos motores da WEG, SEW e Voges, foram encontrados motores disponíveis atualmente no mercado. Com isso, foram analisados os motores que poderiam substituir os utilizados pela fábrica. O tempo de retorno do investimento foi avaliado, analisando a economia energética anual. Foi pesquisado um valor médio anual da energia elétrica e criado um gráfico de comparação entre os motores, com o valor em reais gasto anualmente com perdas de energia, multiplicando-se o preço do quilowatt-hora (kWh) pela perda de energia de cada motor. Com isso, foi possível observar a economia energética anual em reais e posteriormente, calcular a relação do preço do motor por essa economia, obtendo-se assim, o tempo de retorno do investimento.

3. Resultados e Discussão

Os motores utilizados pela fábrica de cimento do estado do Ceará foram instalados em 2009 e operam por aproximadamente 490 h/mês. No total, 65 motores foram analisados, entretanto, foram apenas levados em consideração os motores atuais que, por meio da análise no *software*, apresentaram perdas totais de energia acima de 900W. Os motores analisados foram relacionados aos processos apresentados na Figura 1.

Todos os motores substitutos encontrados no mercado atualmente possuem rendimento maior que os motores utilizados pela fábrica. Quanto mais próximo de 1 for o rendimento, maior a eficiência energética do motor, já que a potência útil está mais próxima da potência introduzida no motor. As perdas de energia ocorrem por quatro meios: i) perdas Joule no estator e no rotor; ii) as perdas no ferro; ii) perdas mecânicas por atrito; e iv) ventilação. Os motores de alto rendimento possuem melhorias nos pontos em que ocorrem as maiores perdas de energia, como uma maior quantidade de cobre nos enrolamentos do estator, a

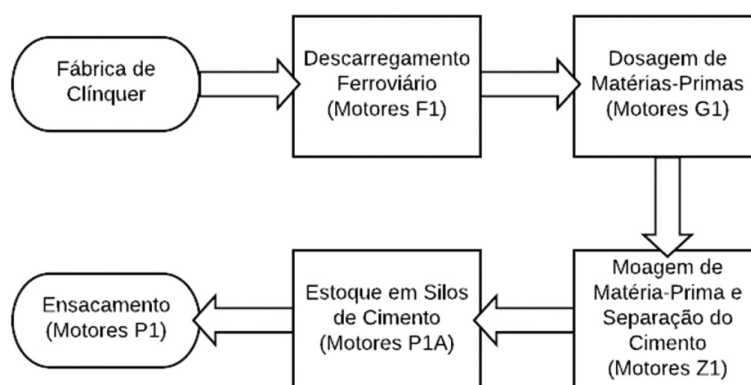


Figura 1. Etapas dos processos de fabricação de cimento dos motores analisados

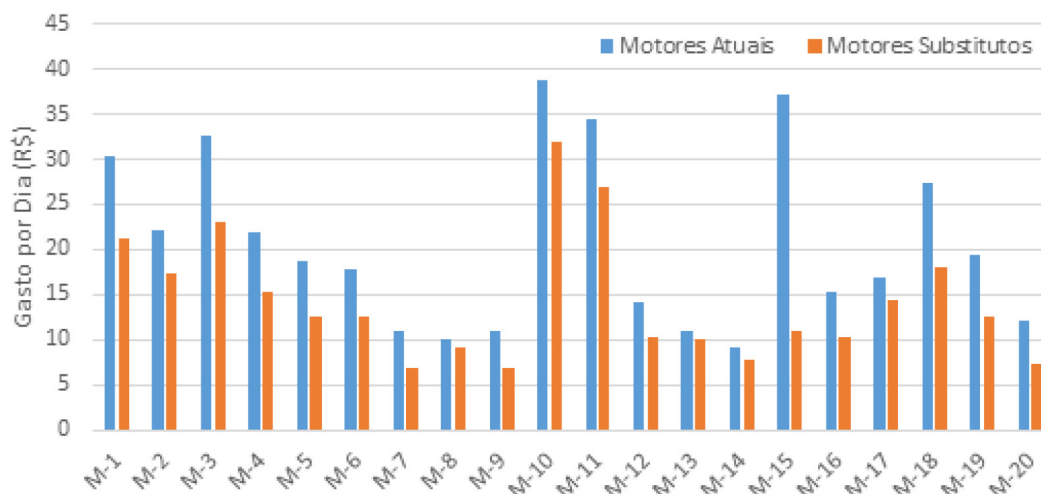


Figura 2. Gasto com as perdas energéticas dos motores atuais e substitutos, em reais

utilização de chapas magnéticas, a redução da intensidade de campo magnético, a utilização de rolamentos apropriados, a otimização da ventilação e do isolamento térmico dos motores, entre outros. Tais melhorias podem reduzir até 30% das perdas de energia.⁷

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a tarifa média por kWh em 2018 foi de R\$ 0,564.⁸ Na Figura 2 é mostrada a comparação dos motores atuais com os motores substitutos.

O motor substituto M-15 (Motor-15) apresentou a maior variação de gastos em reais por dia, economizando diariamente R\$26,20 com energia elétrica e os motores M-8, M-13, M-14 apresentaram menor economia diária de energia elétrica, entre R\$0,89 e R\$1,56. Tendo em vista a redução da quantidade de energia útil perdida, o motor M-15 levaria a empresa a economizar cerca de R\$8.600,00 anualmente.

Existem alguns programas de trocas que dão descontos na compra de novos motores em troca dos motores antigos. Tais descontos podem chegar a até 40%, como é o caso do programa Bônus Motor da CELESC.⁹ O programa tem uma parceria com a WEG e iniciativa da ANEEL, para redução do desperdício de energia em diversas indústrias, órgãos públicos e no setor rural. Outro programa de troca foi desenvolvido pelo Procobre, também em parceria com a WEG, onde foi reunido um site para troca de motores usados por motores mais eficientes com todas as informações de concessionárias distribuidoras de energia fornecedoras de descontos, para troca de motores, englobando diversos estados como São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. A Elektro, empresa do grupo Neoenergia, é uma concessionária que oferece bônus para as indústrias trocarem seus motores, com o programa Bônus para Motores Eficientes.

Neste estudo de caso, com a análise dos motores utilizados pela fábrica de cimento, foram observadas duas opções de troca dos motores consideradas vantajosas para a indústria.

A primeira opção seria a troca de todos os motores WEG analisados por esta pesquisa de campo, conforme a Figura 2. Levando em conta um desconto de 40% na compra dos 14 motores da WEG, o custo total de R\$ 161.400,00 seria reduzido para R\$ 96.840,00. A fábrica de cimento permanece com seus motores ligados por aproximadamente 490 horas por mês, sendo assim, o gasto energético anual com as perdas de energia dos motores atuais da WEG será de aproximadamente R\$ 30.000,00. A indústria iria receber um retorno do valor investido nos motores em aproximadamente 3 anos e meio, sendo que durante esse período seria possível observar a redução do consumo de energia elétrica e a redução dos custos operacionais, o que geraria um aumento na atividade produtiva. Portanto, com um aumento na produtividade, a indústria produziria mais sacos de cimento, o que aumentaria o seu lucro.

Uma outra opção seria a troca dos motores da WEG que, de acordo com a Figura 2, apresentaram a maior redução de gasto com perda energética, sendo os motores M-1, M-5, M-12, M-16, M-18, M-19 e M-20. Esses motores apresentaram os menores tempos de retorno do valor investido, ou seja, a sua troca levaria a uma economia maior em energia elétrica. O custo dos motores estaria por volta de R\$ 35.000,00 (orçamento realizado em maio de 2019) e considerando um desconto de 40%, a indústria economizaria anualmente aproximadamente R\$ 14.650,00 com um retorno do investimento próximo de 2 anos.

Com a troca dos motores M-2, M-6, M-7, M-9 e M-13 da SEW, a economia anual seria de aproximadamente R\$ 6.232,00 com energia elétrica. Já com a troca do motor da Voges uma economia anual de quase R\$ 8.600,00.

A substituição dos motores utilizados atualmente pela fábrica de cimento é interessante no quesito financeiro. Mahla realizou um estudo da substituição de alguns motores de uma mineradora de cobre no Chile e constatou que a troca dos motores era viável, pois tiveram um aumento médio de aproximadamente 5% de eficiência energética, com *payback* em torno de 2 a 3 anos.¹⁰

4. Conclusão

A substituição de motores utilizados atualmente pela fábrica de cimento é viável porque reduziria desperdícios de energia elétrica com a utilização de motores de alto rendimento, que possuem melhorias em sua fabricação se comparados aos motores mais antigos. A substituição seria interessante principalmente no quesito financeiro, já que a empresa economizaria uma boa quantia anualmente com energia elétrica e receberia o retorno do investimento em torno de 3 anos, dependendo da escolha dos motores a serem trocados.

Referências Bibliográficas

1. Amaral, C. N.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2013. [[Link](#)]
2. Tosta, L. I.; Souza, A. C.; Silva, R. J. *XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP*. Foz do Iguaçu, PR, 2007. [[Link](#)]
3. Tolentino, N. M. C.; *Processos Químicos Industriais: Matérias-Primas, Técnicas de Produção e Métodos de Controle de Corrosão*, 1a. ed., Érica: São Paulo, 2015.
4. Camioto, F. C.; Rebelatto, D.; Avaliação de Estratégias para Reduzir a Emissão de CO₂ por Meio da Alteração da Matriz Energética do Setor de Cimento. *Revista Brasileira de Energia* **2015**, 21, 7. [[Link](#)]
5. Barros, R. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Campinas, 2011. [[Link](#)]
6. Silva, R. R.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Campinas, 2013. [[Link](#)]
7. Agostinho, F. R.; Rocca, G. A. D.; Ferreira F. C. S.; Stefenon S. F. Estudo Sobre a Viabilidade Financeira na Atualização Tecnológica de uma Planta Fabril: Utilização de Motores Elétricos de Alta Eficiência e Iluminação LED. *Revista Espacios* **2017**, 38, 5. [[Link](#)]
8. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Ranking das tarifas. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/relatorio-ranking-tarifas>>. Acesso em: 1 junho 2019.
9. CELESC. Projeto da Celesc substituiu mais de 700 motores elétricos em SC. Disponível em: <<https://canalenergia.com.br/noticias/53062335/projeto-da-celesc-substituiu-mais-de-700-motores-eletricos-em-sc>>. Acesso em: 1 setembro 2019.
10. Mahla, I.; *Projeto Piloto de Substituição de Motores Elétricos na Mineração de Cobre – Chile*, 1a. ed., Departamento de Engenharia Elétrica: Santiago do Chile, 2009. [[Link](#)]

Motores Mais Eficientes e Sustentáveis: Estudo de Caso em Uma Indústria de Cimento Visando a Sua Gestão Energética

Efficient and Sustainable Engines: Case Study of a Cement Industry Aiming at Energy Management

Lara C. Ramos, Felipe S. Stopiglia, Miriam T. de Gouvêa, Daniela H. P. Guimarães, Arthur L. B. Dias, Maria Thereza de M. G. Rosa

DOI: [???????](#)

