

Perspectiva de redução no consumo de energia elétrica em motores de indução trifásicos aplicando-se “Eficiência Energética” em Industria no Interior de São Paulo.

Odair dos Santos Mesquita
DECOM - Departamento de Comunicações
UNICAMP -Universidade Estadual de Campinas
Campinas, SP, Brasil.
odair.s.mesquita@gmail.com

Valéria Sueli dos Reis
DECOM - Departamento de Comunicações
UNICAMP -Universidade Estadual de
Campinas, Campinas, SP, Brasil.
valeriareeis@gmail.com

Yuzo Iano
DECOM - Departamento de Comunicações
UNICAMP -Universidade Estadual de Campinas
Campinas, SP, Brasil.
yuzo@decom.fee.unicamp.br

Gabriel Gomes de Oliveira
DECOM - Departamento de Comunicações
UNICAMP -Universidade Estadual de
Campinas, Campinas, SP, Brasil.
oliveiragomesgabriel@ieee.org

RESUMO

O objetivo do estudo é avaliar perspectivas de redução no consumo de energia elétrica em motores de indução trifásicos aplicando-se as políticas de **Eficiência Energética** em Industria do segmento automotivo no Interior de São Paulo visando reduzir seus custos mensais de energia elétrica em motores de indução trifásicos que consomem muita energia elétrica para fabricação de seus medidores de combustível, pastilhas de freio, sapatas de freio e amortecedores que são seus produtos confeccionados para a indústria automotiva que levam seus insumos para os consumidores finais.

Como ferramenta para a realização de métrica de medidas para verificação na busca da Eficiência Energética, realizamos um estudo autorizado por esta Industria, que após os estudos será realizada sugestão para implantação de eficiência Energética em sua linha de produção, onde atuam motores elétricos de indução trifásicos antigos com mais de dez anos de vida útil em funcionamento gerando desperdícios no consumo de energia elétrica e levando a gastos altos nos pagamentos de energia elétrica. Para que este plano seja bem sucedido, nossa sugestão é que haja mudanças de paradigma na proposta da política industrial, primeiro analisando/estudando toda a infraestrutura da fiação elétrica que pode estar inadequada para alimentação de todos os motores e dos sistemas de conexão que estão ligados aos equipamentos, tais como: lâmpadas, plugues e tudo o mais que possa refletir o consumo de energia, posteriormente analisando/estudando e propondo

modificações nos motores elétricos, em que as alterações serão sugeridas de acordo com o programa WEG de Eficiência Elétrica, os quais possuem sistemas com o software necessário para validar as melhorias avançadas para a economia proposta. Para a implementação do programa de Eficiência Energética, será necessário modernizar e melhorar o consumo de energia elétrica do parque industrial em estudo, que se encontra em qualquer empresa que pretenda melhorar o seu desempenho e diminuir o custo da energia elétrica. Porém, para viabilizar tais projetos de melhoria, é necessário fazer um levantamento de toda a infraestrutura, que envolvam todos os equipamentos que estão conectados na sua linha de produção. Tais projetos, em muitos casos, baseiam-se na troca de equipamentos antigos por novos, mais modernos, isso deve ser visto como Inovação Tecnológica e ação para melhorias. Assim, a proposta é que haja uma nova ação na política da empresa, de forma que as indústrias em que o objeto seja a inovação tecnológica por meio do uso da eficiência energética no setor elétrico brasileiro. O estudo principal cuja ideia é utilizar recursos destinados à inovação tecnológica com o aumento da eficiência com o maior uso da energia eólica ou fotovoltaica em projetos de eficiência elétrica. Os principais benefícios para a sociedade brasileira serão a melhoria na redução da tarifa de energia elétrica, onde normalmente é utilizada grande parte de seus recursos.

Palavras-chave: Eletricidade. Eficiência. Economia. Corrente elétrica. Competitividade. Cidades inteligentes.

INTRODUÇÃO:

O avanço no crescimento da população globalizada, associado ao desenvolvimento industrial e tecnológico, tem levado a um aumento substancial da demanda por energia elétrica. Muitas fontes de energia usadas hoje têm volumes de consumo limitados e podem se esgotar em um curto período de 10 anos. A liberdade energética deixou de atender às demandas impostas pela estrutura ambiental da vida urbana, levando a um período de adaptação. Atenção e cuidado significativos devem ser dedicados a esse problema. Modelagem e simulações são as principais ferramentas utilizadas para avaliar os impactos tecnológicos e políticos dos resultados experimentados, planejando a melhor solução para transformar as cidades atuais nas chamadas “Cidades Inteligentes”.

A tecnologia continua a evoluir para fornecer benefícios para o homem, segundo o Professor Francesco Schianchi¹, Politécnica de Milão, Itália.

"Um aplicativo para celular traz eficiência e redução de tempo, mas não é suficiente, A cidade Inteligente foca na qualidade de vida, onde ninguém se sente excluído. E é isso que a tecnologia sozinha não pode alcançar sem a participação dos cidadãos.

Cidades inteligentes são eixos urbanos sustentáveis e rentáveis que proporcionam aumento da qualidade de vida de seus moradores por meio de uma gestão otimizada com recursos próprios. O controle de energia é um dos inconvenientes mais exigentes dentro desses centros urbanos, pela dificuldade dos sistemas energéticos e seu papel central neste cenário em que vivemos.

E é nesse sentido que este estudo segue, com o objetivo de aprimorá-lo para auxiliar a indústria e os governos nessa busca pela “**eficácia**”.

Segundo o PROCEL (2020) “a eficiência energética é alcançada através da utilização de tecnologias eficientes e da mudança de comportamento da sociedade com a adoção de novos padrões e hábitos de uso”. Na visão de (JANNUZZI, 2000), a Eficiência Energética no novo Contexto de Mercado as organizações tem que incentivar maiores esforços no sentido de economizar o consumo de energia elétrica, e é neste intuito que propomos mudanças. Um motor elétrico é uma máquina projetada para converter energia elétrica em energia mecânica, (Kosow, I. (2005)). Na área de acionamentos industriais, estima-se que 70% a 80% da energia elétrica consumida seja convertida em energia mecânica por motores elétricos. Levando em consideração a taxa de eficiência média de 80%, cerca de 15% da eletricidade industrial será convertida em perdas do motor.

Assim, na explicação teórica temos que: (FITZGERALD, KINGSLEY JR. E UMANS, 2006) o motor converte a energia elétrica fornecida em energia mecânica com um percentual de perda reduzido, conforme mostrado na Figura 1.

1. Professor Francesco Schianchi:
https://www.polimi.it/fileadmin/_migrated/content_uploads/CV_Schianchi_09.pdf

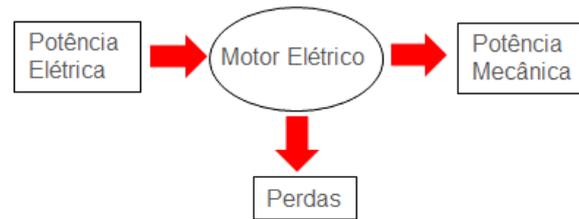


Figura 1: Motor Elétrico. Fonte: (FITZGERALD, KINGSLEY JR., UMANS, 2006).

A perda inerente ao processo de conversão é quantificada pelo rendimento de acordo com a Equação 1.

Equação 1 - Equação de rendimento

$$\eta = \frac{P_{Mec}}{P_{el}} (\%) \quad [1]$$

Onde:

η = Eficiência nominal do motor (Eficiência) [%]

P_{Mec} = perdas mecânicas [Watts]

P_{el} = Perdas elétricas [watts]

Sistemas de acionamento de motor elétrico de indução trifásico:

Os sistemas de acionamento de motor elétrico de indução trifásico são as cargas mais importantes nas fábricas. Segundo a Weg, o setor Industrial Brasileiro consome cerca de 40% da energia elétrica do país e 70% da energia utilizada na indústria é consumida por motores elétricos. Como iniciativa para redução do consumo de energia, em 2009 entrou em vigor a portaria nº 553², que estabelece níveis mínimos de rendimentos para máquinas e equipamentos. Em complemento à lei, em 2013 foi revisada a Norma NBR 17094-1³ que especifica valores mínimos de rendimento para duas classes de motores elétricos com

² Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC nº 553, de 08.12.2005 - estabelece que compete ao Poder Executivo estabelecer os níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética; foi instituído o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, com a finalidade de elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia, e estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado; a regulamentação específica de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilto, bem como os níveis mínimos de eficiência energética.

³ ABNT NBR 17094 especifica os requisitos para motores de indução trifásicos.

Índices de Rendimentos definidos em portaria ministerial⁴: IR2 e IR3, conforme apresentado na figura 2.

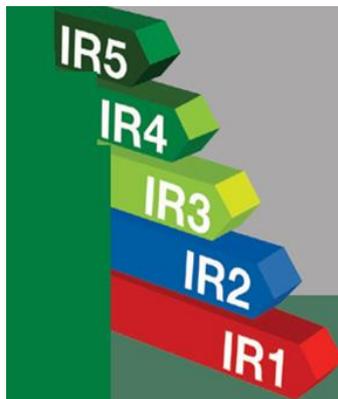


Figura 2: Classificações de motores. Fonte: Autor (Adaptado de Motores Weg).

Desta forma, fabricantes de máquinas e consumidores finais devem utilizar produtos que atendam, ao menos, a este nível de rendimento. Em agosto de 2019 entrou em vigor nova lei que determina o nível mínimo de rendimento em IR3, além da ampliação da faixa de potência, que passa a incluir os motores de 0,16 a 500 cv, de 2 a 8 polos, para todos os motores comercializados, sejam novos ou usados, conforme apresentado na figura 2.

Esses motores são responsáveis por $\pm 70\%$ do consumo de energia elétrica na indústria de transformação.

A maior importância dos motores elétricos de indução no consumo de energia elétrica verificada nas fábricas é o aumento dos custos com energia elétrica, fazendo com que os fabricantes de motores realizem grandes desenvolvimentos para "motores de alta eficiência".

Proposta de substituição de motores antigos com mais de dez anos:

A proposta de substituição de motores usados deve seguir procedimentos que alimentem os dados dos fabricantes com informações através das placas do motor que, se corretamente informadas, poderão alimentar softwares de análise que poderão realizar a substituição de motores usados por novos motores. A Weg possui um software

⁴ A portaria nº 553, da lei de Eficiência Energética nº 10.295, em vigor desde dezembro de 2009, estabelece como padrão para motores elétricos trifásicos de 1 a 250 cv, o IR2 (Índice de Rendimento dois). Desta forma, fabricantes de máquinas e consumidores finais devem utilizar motores que atendam, ao menos, o rendimento mínimo exigido por lei.

denominado See⁺ (<https://www.weg.net/see+/pages/regua.jsp>) exclusivo dos produtos WEG, que permite simular aplicações de motores mais eficientes para reduzir o consumo de energia. É possível simular a troca de um ou todos os motores da planta industrial. Os resultados mostram a estimativa do potencial de economia de energia, investimentos necessários, indicadores financeiros: Payback, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno) e simulações de capitalização de recursos por meio de financiamentos.

Os usos desses recursos servem para obter os melhores Índices de Renda para o consumo de energia elétrica.

Material e métodos:

Refira-se que num diagnóstico de investigação energética é necessário estudar detalhadamente a descrição básica dos processos da empresa em estudo e realizar criteriosamente diagnósticos sobre os sistemas elétricos, estudar a carga elétrica instalada, as condições de abastecimento e distribuição da energia (cabos de rede de entrada de alimentação da energia elétrica, distribuição e conexões dos fios) e, finalmente, realizar estudos técnicos e econômicos das mudanças para promover a economia no consumo de energia. Verificar se há necessidade de investimentos em infraestrutura de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para melhorias a serem apresentadas. As pesquisas/auditorias de energia elétrica são ferramentas úteis para identificar oportunidades de eficiência energética e economia de energia, utilizando o método eficaz para avaliar a economia e propor planos de ações corretivas para alcançar um processo sustentável e eficiente do ponto de vista energético.

O objetivo principal deste artigo foi realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica da substituição de antigos motores elétricos de indução trifásicos que operam como atuadores em máquinas de trabalho por novos motores de alta eficiência, conforme apresentado nas figuras 3).



Figura 3: placas de motores de identificação das guilhotinas.

Proposta de Soluções Técnicas para Motores Elétricos de Indução trifásicos:

A pesquisa teve como foco os motores elétricos de indução cujo desempenho são motores classificados de acordo com a ABNT NBR 17094 que especifica os requisitos para motores de indução trifásicos e a Portaria nº 553, da Lei de Eficiência Energética nº 10.295, em vigor desde dezembro de 2009 que estabelece os padrões para motores elétricos trifásicos de 1 a 250 HP, o IR2 (índice de eficiência dois).

O projeto de substituição dos motores elétricos de indução existentes por motores elétricos de indução modelo IR3 ou IR4 baseia-se nas especificações técnicas obtidas na pesquisa de estudos de motores.

Com esta situação em mente, foi realizado um levantamento de todos os motores antigos, com mais de 10 anos que precisam ser substituídos na fábrica, ou seja, em cada departamento buscamos conhecer o modelo do motor e sua funcionalidade, e quais são necessários para realizar a análise e comparação financeira em estudo, para isso foram elaboradas tabelas com colunas identificando os campos item, nome, quantidade total, preço unitário, sendo esta informação necessária para realizar a análise financeira e comparação das tecnologias em estudo, com esses dados é possível avaliar e analisar o Payback, VPL e TIR.

Para o cálculo da rentabilidade da substituição dos motores, foi realizado o cálculo anual resultante da utilização dos motores elétricos de indução em troca dos motores elétricos de indução existentes na fábrica. Este cálculo é obtido aplicando-se as seguintes equações:

- a) TIR (Taxa Interna de Retorno): é uma taxa de desconto aleatória que, quando aplicada a um determinado fluxo de caixa, torna os valores das despesas, trazidos a valor presente, iguais aos valores dos retornos do investimento. A TIR é calculada para um VPL igual a zero, em que o investimento não dá lucro ou perda. O cálculo é feito somando cada entrada de fluxo de caixa menos o investimento inicial, onde este valor é igual a zero, usando a equação 2:

Equação 2: Equação da TIR.

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} - \text{Investimento inicial} = 0 \quad [2]$$

Onde

FC = fluxos de caixa

i = período de cada investimento

N = período de investimento final.

b) PAYBACK

É o tempo exato necessário para a empresa recuperar seu investimento inicial em um projeto, considerando os fluxos de caixa projetados (LAPPONI, 2000). Do ponto de vista técnico, este método é considerado uma técnica de orçamento de capital pouco sofisticada, devido à não observância do valor do dinheiro no tempo, uma vez que o fluxo de caixa não é descontado para se obter o valor presente do dinheiro. Quando é usado para a decisão de aceitar ou rejeitar um projeto, temos a seguinte linha de decisão:

Payback < período de retorno máximo aceitável: o projeto deve ser aceito;

Payback > período de retorno máximo aceitável: o projeto não deve ser aceito;

Para calcular o Payback, a base para a análise deste projeto, usamos a equação 3:

Equação 3 – Payback

$$PB = Tq \sum_{t=0}^T (FC)_t = 0 \quad [3].$$

Onde:

PB = Retorno [anos];

t = tempo [anos];

FC (Fluxo de Caixa) = representa o retorno do tempo t. [R\$];

$$Tq = \hat{l} T \text{ quando;}$$

T = representa o tempo [anos].

Essa expressão matemática demonstra a soma dos Fluxos de Caixa do projeto na data zero até que o Payback seja igual a zero, ou seja, quantos períodos serão necessários para o projeto apresentar o retorno básico.

Matematicamente, notamos que a equação 3 é verdadeira apenas se: $(FC)_{t=0}$ seja o fluxo de caixa $(FC)_t$ no restante dos períodos t, exceto para 0 (zero) o fluxo de caixa não é acumulado, mas estes têm sinal positivo. O fluxo de caixa acumulado e não acumulado também é conhecido respectivamente como “saldo do projeto” e “lucro líquido”.

c) VPL (Valor Presente Líquido).

Método de avaliação que mostra a contribuição do projeto de investimento no aumento do valor da empresa. Se a empresa for aberta com ações ordinárias negociadas em bolsa de valores, o método VPL mostra a contribuição do projeto de investimento na maximização do retorno aos acionistas. O VPL (Valor Presente Líquido) desenvolvido refere-se à diferença entre o valor presente do capital positivo e o capital negativo do fluxo de caixa do projeto de investimento (LAPPONI, 2000).

Para calcular o VPL, usamos a equação 4:

Equação 4 - VPL (Valor Presente Líquido).

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{(FC)_t}{(1+K)^t}$$

Onde:

VPL: Valor presente líquido [R\$]

I: Investimento de capital na data zero [R\$]

FCt: Fluxo de Caixa [R\$]

K: taxa mínima exigida [%].

Concluimos que para o $VPL > 0$ o investimento será recuperado, remunerado a uma taxa mínima exigida (k) e gerando lucro extra na data zero igual ao VPL. Diante do exposto nos testes, apresentamos propostas de substituição dos motores de indução trifásicos utilizados por novos modelos de melhor desempenho, utilizando os dados de comparação para levantar os critérios de decisão: Potência nominal P (kW), número de pólos, rendimento, idade do motor, número de rebobinamentos e seu preço de mercado, conforme descrito na tabela 1 e também com o cálculo da TIR, Payback e VPL da guilhotina A (tabela 2 e figura 4).



Figura 4: motores antigos.

Tabela 2. Resumo das especificações da guilhotina A.

Motor Elétrico guilhotina A - tensão nominal 220 / 380V; 60 Z Hz - (operação 100%)											
Motor atual						Motor novo					
P(kW)	Polos	η	Idade	rebobinagem	Preço (R\$)	P(kW)	Polos	η	Idade	Rebobinagem	Preço (R\$)
10	4	88.5	20	5	0	10	4	91.0	0	0	4,642.90

Três cenários foram realizados para analisar possíveis mudanças de motores de indução trifásicos, que são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Cenários I, II e III com cálculo da TIR, Payback e VPL. A taxa de referência para cada cenário é de -4%.

Motor elétrico trifásico: guilhotina A						
	Cenário I		Cenário II		Cenário III	
Tarifa básica	0.25		0.31		0.43	
Economia Kwh/ano	6,804		6,804		6,804	
Investimento Inicial	- 4,642.90		4,642.90		- 4,642.90	
Ano 1	1,701.00	2,941.90	2,109.24	- 2,533.66	2,925.72	1,717.18
Ano 2	1,701.00	1,240.90	2,109.24	- 424.41	2,925.72	1,208.55
Ano 3	1,701.00	460.11	2,109.24	1,684.83	2,925.72	4,134.27
Ano 4	1,701.00	2,161.11	2,109.24	3,794.07	2,925.72	7,060.00
Ano 5	1,701.00	3,862.11	2,109.24	5,903.32	2,925.72	9,985.72
TIR		24%		35%		56%
VPL		5,172.13		7,573.46		12,376.13
Payback		2.73		2.20		1.59



Figura 1. Retorno de caixa estimado ao longo dos anos para a Guilhotina A.

O estudo com cenários de economia da Guilhotina A é dado como exemplo de condição vantajosa trocando o motor de indução trifásico existente por um motor de indução trifásico modelo **IR3** ou **IR4**, como pode ser verificado através dos cálculos do TIR, payback e VPL na tabela 2. Portanto, no cenário 1 que é conservador onde a tarifa é mais baixa; o motor de indução trifásico se paga em 2,73 anos; no cenário 2, que é o mais realista, apostar na taxa mais próxima da atual; o motor de indução trifásico se paga em

2,20 anos. No cenário 3, é mais agressivo apostar em um aumento relativo da taxa de investimento; o motor de indução trifásico se paga em 1,59 anos.

A decisão de aquisição será no cenário 2 para a troca de motores de indução trifásicos.

Conclusão:

O estudo com cenários de economia da Guilhotina A é dado como um exemplo de condição vantajosa pela troca do motor de indução trifásico existente por um motor de indução trifásico modelo IR3 ou IR4, como pode ser visto nos cálculos da TIR, payback e VPL nas tabelas 16 a 18. Assim, no cenário 1, que é conservador onde a tarifa é menor, o motor de indução trifásico se paga em 2,73 anos; 2. no cenário 2, que é o mais realista, apostando na taxa mais próxima da atual, o motor de indução trifásico compensa em 2,20 anos; 3. no cenário 3, é mais agressivo apostar no aumento relativo da taxa de investimento; o motor de indução trifásico se paga em 1,59 anos. A decisão de compra será no cenário 2 para a troca de motores de indução trifásicos.

Portanto, a proposta de substituição dos motores que irão alimentar os principais pontos pré-estabelecidos, pela arquitetura idealizada através das placas do motor informadas e através do software de análise See⁺, que é um software exclusivo da WEG, permitirá simular aplicações de motores com maiores eficiência para reduzir o consumo de energia. É possível simular a troca de um ou todos os motores da planta industrial.

Os resultados deste trabalho mostram o potencial estimado de economia de energia, investimentos necessários, indicadores financeiros (TIR, Payback, Valor Presente Líquido).

A partir deste estudo, sugere-se que trabalhos futuros sejam necessários para implementar as indicações de um programa de manutenção anual que estabeleça uma rotina específica para cada componente do sistema elétrico, de forma a manter a integridade das instalações e sua adequação às normas técnicas. que será atualizado na pesquisa com foco na melhoria dos indicadores de Eficiência Energética.

Referências:

Procel. (s.d.). Código Legislativo da Eficiência Energética. (E. ELETROBRÁS/PROCEL, Ed.) Código Legislativo da Eficiência Energética nos prédios públicos Federais, 142. Obtido em jan de 2020, de <https://www.mma.gov.br/>:

Kosow, I. (2005). Máquinas elétricas e transformadores (15 ed.). São Paulo: Globo.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR., Charles; UMANS, Stephen D. 2006. Máquinas elétricas: com introdução à eletrônica de potência. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. ISBN: 9788560031047 (broch.).

Jannuzzi, G. d. (2000). Políticas Públicas Para Eficiência Energética e Energia Renovável no Novo Contexto de Mercado: uma Análise da Experiência Recente dos EUA e do Brasil (14 ed., Vol. 14). Autores Associados.

Jannuzzi, G. M. (2014). Eficiência Energética. fundação konrad adenauer. doi:issn 1519-0951

Lapponi, J. C. Projetos de Investimento: Construção e Avaliação do Fluxo de Caixa. Editora Lapponi. 378 páginas.

PROCEL. (2020). EFICIÊNCIA PROCEL. Obtido em MAR de 2020, de <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7BD75739EC-A9B6-4E70-B189-65A5FEA0D24F%7D>

Procel. (s.d.). Código Legislativo da Eficiência Energética. (E. ELETROBRÁS/PROCEL, Ed.) Código Legislativo da Eficiência Energética nos prédios públicos Federais, 142. Obtido em jan de 2020, de <https://www.mma.gov.br/>:

RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, D. 1. (2012). RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. ANEEL.