

Análise energética da troca de motores de indução trifásicos analisando o carregamento *in loco*

Marcos Antônio Lima de Medeiros Junior
Centro de Engenharias – Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Mossoró-RN, Brazil
marcos_junior10@hotmail.com

Dr. Victor Paula Brandão Aguiar
Centro de Engenharias – Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Mossoró - RN, Brasil
victor@ufersa.edu.br

Resumo — Este trabalho se baseia no desafio da eficiência energética nos motores elétricos de indução trifásicos no setor industrial salineiro. É apresentada um estudo de caso em que foram analisados seis motores de 30 a 50cv de potência que estão a mais de 10 anos em operação e que passaram por vários processos de rebobinamento. O estudo foi embasado na análise energética dos motores *in loco* utilizando a estimação do valor do carregamento em operação, avaliação das possibilidades de troca e ranqueando as opções com menor custo anual no consumo de energia elétrica. Para todos os casos estudados as trocas, seguindo critério técnico, devem ser realizadas por motores de potência diferentes, mostrando que o projeto inicial em geral é sobredimensionado. A troca em um dos motores de 50 cv gera em torno de R\$ 6.000,00 de economia anual, desde que seja utilizado um motor de menor potência nominal e maior carregamento em operação. Caso todas as opções de troca sejam realizadas a economia anual, apenas para os 6 motores analisados, seria em torno de R\$ 10.000,00.

Palavras-chave — Eficiência energética, alto rendimento, motores elétricos, motores industriais, rotor gaiola de esquilo.

I. INTRODUÇÃO

A crise energética ocasionada em 2001 fez com que o país tomasse diversas precauções para que tal fato não ocorresse novamente, dentre este a lei de “Eficiência Energética” [1]. Esse documento prevê uma meta de eficiência para os fabricantes que desejam comercializar equipamentos elétricos no país, estimulando o desenvolvimento de equipamentos com maior rendimento [1].

Grande parte do consumo energético no Brasil se deve ao consumo industrial para produção de bens de consumo. Em 2018 o setor industrial foi responsável por 35,90% do consumo energético país, liderando o ranqueamento entre os setores econômicos e seu consumo de energia [2].

Dados dos fabricantes comprovam a evolução do rendimento dos motores elétricos de indução trifásicos. Modelos dos anos 90 possuíam uma média de rendimento de 90%, enquanto os motores atuais possuem uma média de rendimento de 96,5%, impactando diretamente na viabilidade econômica a troca de motores envelhecidos por novos [3].

Conforme se observa em literatura que os países pelo mundo têm modificado seus índices de rendimento mínimos em motores elétricos industriais, movimentando seus mercados internos para produtos mais eficientes indo ao encontro dos programas de planejamento nacionais e

internacionais de redução no consumo de energia elétrica [2-6].

Tendo em vista tantos aspectos importantes que cercam as ações de eficiência energética em motores elétricos de indução, este trabalho tem como objetivo analisar a troca de motores industriais de média potência a partir da estimação do carregamento dos motores por medição da corrente de operação *in loco*, por motores de indução de melhor rendimento e que proporcionem maior rentabilidade econômica. O trabalho apresenta o diferencial de poder utilizar uma planta industrial existente na cidade Mossoró, RN: uma refinaria salineira (“refinaria de sal” - ramo alimentício) que possui alguns desafios energéticos neste âmbito.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Circuito Equivalente do Motor de Indução Trifásico

Para melhor entender os motores de indução trifásicos (MIT) é necessário entender seu circuito equivalente e a partir das suas características podemos tirar conclusões sobre sua operação e desempenho [4].

O princípio de funcionamento de um motor de indução possui grande relação com um transformador de potência, pois a variação de campo do estator induz uma tensão em seu rotor. Na Figura 1 pode-se observar o circuito equivalente de um motor de indução e seus parâmetros.

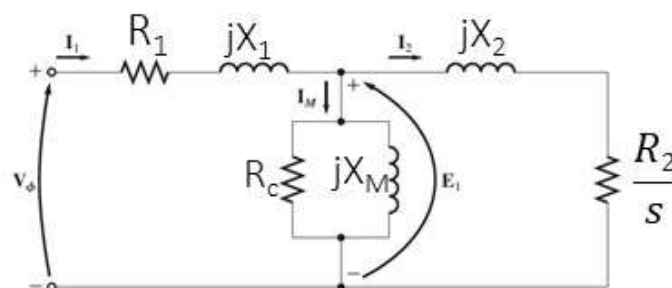


Fig. 1. O circuito equivalente por fase de um motor de indução.[4]

Assim como os transformadores, os motores de indução possuem uma resistência do enrolamento estatórico e uma reatância indutiva relativa à indutância de dispersão do seu primário (Estator), R_1 e X_1 , como consequência das características do enrolamento trifásico do estator [4].

Ao contrário dos transformadores de potência, é necessária a presença de um entreferro de ar entre o estator e o rotor, assim os motores de indução apresentam uma reatância de magnetização, X_M , que influencia fortemente na análise do circuito equivalente, diferentemente do transformador [4].

Já a resistência R_C , conhecida resistência equivalente às perdas no ferro (núcleo), como o mesmo comportamento do transformador. O secundário do circuito, que é equivalente ao rotor possui uma resistência associada ao próprio R_R , assim como uma reatância associada à indutância de dispersão da gaiola de esquilo presente no rotor. X_{R0} . Estes valores são referenciados ao estator (primário) a partir das equações 1.1 e 1.2 [4].

$$R_2 = a_{ef}^2 R_R. \quad (1.1)$$

$$X_2 = a_{ef}^2 X_{R0}. \quad (1.2)$$

A tensão induzida no rotor é representada por uma relação de transformação, a_{ef} , assim para que os circuitos de estator e rotor sejam realmente um único circuito, é necessário usar desta relação de transformação para obter uma resistência de reatância equivalente, chamadas de R_2 e X_2 , pode-se observar nas equações 1.1 e 1.2 [4].

A variável s representa o escorregamento que é a velocidade do rotor em relação à velocidade síncrona, expressa em uma base (velocidade síncrona) por unidade ou porcentagem [4]. Essa grandeza, presente no circuito, é o vínculo que explicita a conversão eletromecânica de energia, isto é, uma grandeza mecânica interfere no circuito elétrico e gera uma nova compreensão sobre este circuito equivalente e o diferencia do circuito equivalente do transformador [4].

B. Balanço Energético do Motor de Indução Trifásico

Durante a transferência de potência entre a entrada do estator ($P_{entrada}$) e potência no eixo (P_m), há uma série de perdas como: Perdas no cobre do estator (P_{PCE}), no cobre do rotor (P_{PCR}), atrito e ventilação ($P_{atrito e ventilação}$), e suplementares (P_{suplem}). Apresentado na Figura 2.

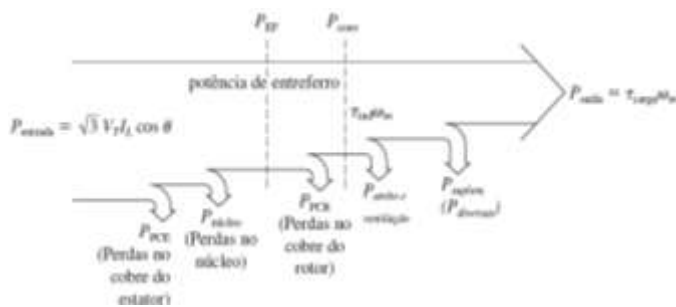


Fig. 2. Diagrama de Sankey do balanço energético no MIT [4].

As perdas no cobre do estator (P_{PCE}) podem ser obtidas a partir da equação 1.3, onde I_2 é a corrente no rotor e R_1 é a resistência no estator [4].

$$P_{PCR} = 3I_2^2 R_1. \quad (1.3)$$

A potência entregue no entreferro (P_{EF}) pode ser obtida a partir da equação 1.4.

$$P_{EF} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s}. \quad (1.4)$$

Já a perda no cobre do rotor (P_{PCR}) é expressada pela equação 1.5, análoga às perdas no cobre do estator (P_{PCE}) [4].

$$P_{PCR} = 3I_2^2 R_2. \quad (1.5)$$

As perdas por atrito e ventilação ($P_{atrito e ventilação}$) e perdas suplementares (P_{suplem}) pode-se ser calculadas a partir de P_m e da potência mecânica, P_{conv} , segundo a equação 1.6 [3].

$$P_m = P_{conv} - P_{atrito e ventilação} - P_{suplem}. \quad (1.6)$$

Assim conhecendo todas as perdas do motor podemos encontrar um rendimento (η) para o MIT, conforme equação 1.7 [3].

$$\eta = \frac{P_{entrada} - P_{perdas}}{P_{entrada}}, \quad (1.7)$$

Em que P_{perdas} é o somatório das perdas apresentadas anteriormente: P_{PCE} , P_{PCR} , P_{EF} , $P_{atrito e ventilação}$ e P_{suplem} .

O torque no eixo (T_{ind}) pode ser obtido pela equação 1.8, onde ω_m é a velocidade angular e P_{conv} é a potência mecânica.

$$T_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m}. \quad (1.8)$$

C. Carregamento do Motor de Indução Trifásico

Com base na dedução da potência de saída ou da potência no eixo do motor (P_m), pode-se relacioná-la à potência nominal do motor. Essa relação tem como definição o carregamento de um motor (L), expressada pela equação 1.9.

$$L = \frac{P_m}{P_{nominal}}. \quad (1.9)$$

Embora muitas bibliografias não relatem essa definição do carregamento (L) ele é comumente difundida entre profissionais da área. É possível encontrar facilmente dados que relacionam o carregamento com outros parâmetros de desempenho em catálogos técnicos de motores como no site da WEG, empresa multinacional brasileira de venda de motores elétricos [5]. Nos catálogos da WEG é possível obter gráficos relacionando “corrente x carregamento”, “rendimento x carregamento”, “fator de potência x carregamento”, dentre outros [5].

D. Sobredimensionamento e Subdimensionamento

Com base no conceito de carregamento, pode-se inferir a partir da análise deste parâmetro a classificação dos motores em sobredimensionado e subdimensionado.

Sobredimensionamento se refere a motores com carregamento acima de 100%, trabalhando acima do carregamento da sua potência nominal e este fato pode fazer com que esse motor sobreaqueça podendo causar danos ao mesmo [5].

Subdimensionamento se refere a motores com carregamento muito abaixo de 100%, trabalhando em baixa capacidade em relação a sua potência nominal. Tais motores estarão com seu carregamento em torno de 60% e como consequência poderá causar baixos índices de rendimento para a máquina [5].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão abordados todos os métodos e materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

A. Informações sobre a Indústria Salineira e Quantitativo de Motores

O local utilizado para realização da análise foi uma indústria salineira localizada na cidade de Mossoró-RN, Brasil. A empresa conta com aproximadamente 62 motores com diversas potências: de 3cv a 50 cv.

Os motores presentes no local possuem mais de 10 anos que estão em funcionamento e passaram por vários processos de rebobinamento, assim torna necessária uma análise de troca de motores por motores mais eficientes, analisando seus carregamentos médios demandados. A refinaria conta com o esquema elétrico apresentado na Fig. 1:

A quantidade de motores presentes em toda a refinaria foi contabilizada e exposta na Tabela I.

TABELA I. QUANTITATIVO DE MOTORES DA INDÚSTRIA

Potência Nominal (cv)	Quantidade
3	20
4	6
5	22
7,5	8
30	2
40	2
50	2
Total	62

Pelo critério de maior potência serão escolhidos para realização do estudo os seis maiores motores presente na refinaria os pares de 30, 40 e 50 cv para realização do estudo. Os motores de maior potência impactam no maior processamento de energia elétrica por equipamento individual.

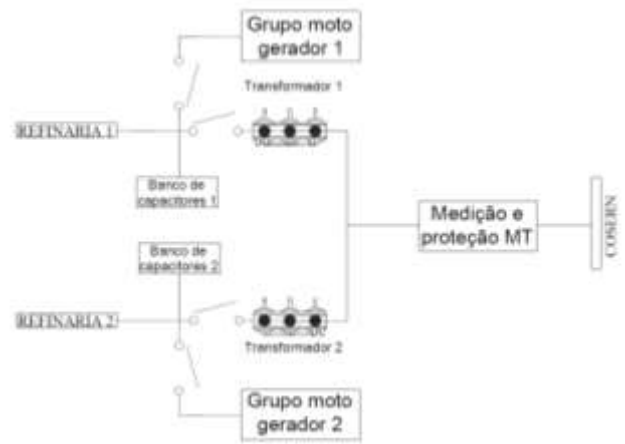


Fig. 3. Esboço do esquema elétrico da planta da indústria de refino de sal.

B. Medição das Correntes e Verificações

Para realizar a análise de carregamento e de rendimento foram mensurados os valores de correntes nos motores *in loco*, conforme Fig. 4. O equipamento utilizado foi o alicate amperímetro da marca Minipa e modelo ET-4080. As medições foram realizadas em datas e turnos disponibilizados pela empresa e em intervalos de tempo de 10 minutos entre as medições. Usando equipamento de proteção adequado para situação foi seguido os passos abaixo para mensurar as correntes dos motores:

- Identificação das fases do motor;
- Conferir a configuração do alicate amperímetro;
- Medição sequencial de cada fase;
- Repetir estes procedimentos por 10 vezes em intervalos de tempo de 10 minutos;
- Em caso de diferença de mais de 40% entre as correntes descartar menor valor.

O equipamento em questão possui as seguintes especificações:

O alicate amperímetro em questão é fabricado pela Minipa, com as seguintes especificações técnicas:

- Tensão CC: 600V, precisão: $\pm (0,5\%+5D)$
- Tensão CA: 600V, Precisão: $\pm (1,0\%+5D)$ para 50Hz ~ 60Hz
- Resistência 999 Ω , precisão: $\pm (1,0\%+6D)$
- Corrente AC: 40A, 400A, 1000A, precisão 0 ~ 1000A $\pm (1,0\%+5D)$ para 50Hz / 60Hz.



Fig. 4. Medição das correntes *in loco*.

Após a obtenção dos 30 valores de correntes para cada motor calculou-se a média entre os valores, expressados na Tabela II.

TABELA II. CORRENTES MÉDIAS DE CADA MOTOR

Motor	Potência Nominal (cv)	Polos	Corrente Média (A)
1	50	4	37,96
2	50	4	67,10
3	40	4	41,42
4	40	4	49,17
5	30	4	31,51
6	30	4	29,51

C. Índice de Rendimento dos Motores em Operação

Ao tentar obter quaisquer informações do motor verificou-se que os mesmos não possuíam suas placas de identificação. Assim foi solicitado a empresa algumas informações básicas sobre os motores, que não foram atendidas. Constatou-se que a empresa não fazia nenhum rastreamento dos seus motores, e nem os projetos iniciais estavam mais disponíveis.

A única informação repassada foi que os motores foram adquiridos há mais de 10 anos. Sendo assim assumiu-se que os motores presentes na refinaria seriam da classe IR2 que, pela nomenclatura atual seria chamado, índice de rendimento 2 [6].

Essa consideração deixa a análise técnica mais afastada do limite de viabilidade [2], retirando a possibilidade de rendimentos menores e que, infelizmente, são comuns em casos extremos como este. Ratificando o parágrafo anterior, se para esta condição o motor possuir viabilidade técnica e econômica, no caso de um nível de rendimento abaixo ou igual ao IR1 a viabilidade técnica e econômica deste motor será ainda maior [7].

D. Carregamento e Rendimento dos Motores em Operação

A partir de dados coletados no sítio eletrônico da WEG [4], foram disponibilizadas as curvas: “Carregamento x Corrente” e “Carregamento x Rendimento”. As referências

utilizadas para consulta no site foram W22, IR2 e IR3, Potências 20 cv, 30 cv, 40 cv e 50 cv, 4 polos, 60Hz. As Fig. 5 e Fig. 6 exemplificam o modelo de uma curva que foi encontrada no sítio eletrônico. Esse procedimento foi realizado para as potências de 20 cv a 50 cv para os rendimentos IR2 e IR3.

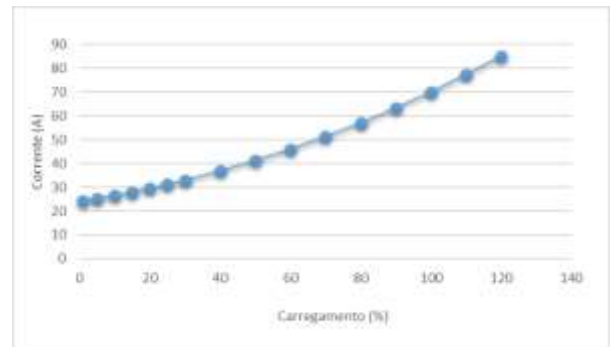


Fig. 5. Curva “Corrente x Carregamento”, referência do motor W22 IR2 50 cv 2P 220/380 V 60 Hz [4].

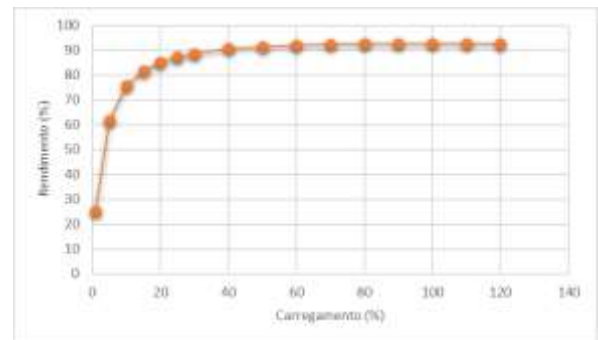


Fig. 6. Curva “Rendimento x Carregamento”, referência motor W22 IR2 50 cv 2P 220/380 V 60 Hz [4].

Todos os valores coletados no site da WEG foram utilizados para desenvolvimento de um banco de dados em uma planilha de Excel.

E. Ferramentas ou Planilhas de Cálculo

Para realizar os cálculos com mais versatilidade e praticidade foram adotado os softwares MATLAB® e Excel, onde os passos abaixo resumem a análise dos carregamentos dos motores assim como os dados necessários para os cálculos posteriores.

1) Cálculo do carregamento

Como para cada curva conhece pelo menos 10 pontos e a corrente média de cada motor, é possível utilizar a função *spline* do software MATLAB® para encontrar o carregamento correspondente de cada corrente média.

2) Potência no eixo do motor

Conhecendo o carregamento do motor pode-se encontrar a potência mecânica no eixo do motor, pela equação (3.1).

$$P_m = L \cdot P_{cv} \cdot 0,736, \quad (3.1)$$

onde P_m é a potência no eixo em kW, L é o carregamento (p.u.) e o P_{cv} é a potência nominal do motor em cv.

A partir da potência mecânica no eixo, pode-se sugerir a troca do antigo motor por motores com potência equivalente a potência mecânica no eixo.

3) Obtenção do rendimento dos motores IR2 e IR3

Conhecido o carregamento de cada motor da classe IR2, conforme listado nas subseções anteriores, é possível calcular o rendimento dos motores utilizando a função *spline* do MATLAB®, realizando-se a interpolação e obtendo-se tais valores de rendimento. Este processo também foi realizado para motores de rendimento IR3, nas mesmas condições.

4) Consumo dos motores de rendimento IR2 e simulação do consumo dos motores de rendimento IR3

Com base nos dados obtidos nos procedimentos acima é possível calcular o consumo de cada motor levando em conta as considerações abaixo:

- A quantidade de horas trabalhadas no ano por cada motor é de 4368 horas. Esse valor foi obtido a partir da consideração de 84 horas por semana considerando 52 semanas trabalhadas no ano.
- A tarifa média de eletricidade considerada para esta empresa é 0,4 R\$/KWh.

A equação (3.2) foi utilizada para calcular o consumo de cada motor.

$$E = 0,736 \cdot \frac{P_{cv} \cdot L \cdot T \cdot H}{\eta(L)} \quad [6] \quad (3.2)$$

O custo da energia elétrica (E) é uma função do carregamento em p.u. (L) assim como o rendimento ($\eta(L)$), carga nominal em cv (P_{cv}), horas de operação anual em horas/ano (H) e a tarifa em R\$/kWh (T).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos em consequência da metodologia adotada.

A. Comparação entre as formas de apresentação do carregamento

Analisando os resultados obtidos pela função de interpolação *spline* do MATLAB®, e o método que divide a corrente medida pela corrente nominal (I_{medido}/I_n) observa-se que há uma diferença nos valores calculados. Em alguns casos é encontrado um erro de 10,06 p.p. (pontos percentuais) e assim considerou-se que a utilização do método I_{medido}/I_n esta suscetível a grandes erros ao comparar-se ao método que utiliza as curvas do fabricante. Isso é explicado devido não linearidade das curvas “Corrente x Carregamento” fornecida pelo fabricante, conforme Fig. 3 e Fig. 4. A Tabela III apresenta os valores de corrente, carregamento e o erro em p.p. (pontos percentuais) entre os valores de carregamento pelos dois métodos.

Comparando o carregamento de cada motor é notório que alguns motores estão com os seus carregamentos inferiores a 80%, isso pode indicar uma sugestão de troca que será tratada no próximo tópico.

TABELA III. COMPARAÇÃO ENTRE CARREGAMENTOS CALCULADOS A PARTIR DA DOS MÉTODOS APRESENTADOS.

Motor	Corrente Nominal (A)	Corrente Média (A)	Carregamento por Curvas do Fabricante (%)	Carregamento (%) In/Im	Erro (p.p)
1	72,2	37,96	42,51	52,57	-10,06
2	72,2	67,10	95,54	92,93	2,60
3	57,4	41,42	69,03	72,16	-3,13
4	57,4	49,17	85,74	85,66	0,08
5	42,8	31,51	70,56	73,62	-3,06
6	42,8	29,51	64,18	68,95	-4,77

B. Trocas possíveis de motores a partir do carregamento

Nesta seção serão apresentadas todas as opções de troca dos motores em estudo, variando-se potência nominal e índice de rendimento (IR) disponíveis no mercado. Na troca, os motores sugeridos seguem algumas especificações:

- podem ter potências nominais menores que o original, configurando um redimensionamento;
- o carregamento sempre abaixo de 100% e;
- sempre buscando o maior rendimento que o medido no motor in loco. O maior rendimento é garantido desde que o carregamento aumente, mesmo mudando a potência nominal.

Inicialmente, a partir da equação (3.1), calculou-se a potência mecânica no eixo para cada motor objeto do estudo. Na Tabela IV foram estabelecidas opções de troca com motores de potências nominais e carregamentos diferentes.

TABELA IV. OPÇÃO PARA TROCA DO MOTOR 1

Motor 1 – 50 cv			
Opções	Potência no eixo (cv)	Potência (cv)	Carregamento (%)
1.1	21,22	25	84%
1.2	21,22	30	70%
1.3	21,22	40	53%
0	21,22	50	42%

Os resultados expressos na Tabela IV demonstram que, levando em consideração o carregamento, há 4 opções de troca para o motor 1 de 50 cv, sendo a opção 1.1 a sugestão para troca com carregamento mais próximo e inferior a 100%. Observa-se que a opção 0 desta tabela apresenta, tecnicamente, a troca de um motor velho/envelhecido por um novo.

Para o motor 2, os resultados com opções de troca são apresentados na Tabela V. O resultado apresentado na Tabela V mostra que o motor 2 está com carregamento alto, abaixo de 100% e com rendimento compatível. Desta forma não é sugerível alterações segunda a análise de carregamento, exceto troca do motor usado e envelhecido por um novo.

TABELA V. OPÇÃO PARA TROCA DO MOTOR 2

Motor 2 – 50 cv			
Opções	Potência no eixo (cv)	Potência (cv)	Carregamento (%)
0	49,26	50	98%

Para o motor 3, os resultados com opções de troca são apresentados na Tabela VI.

TABELA VI. OPÇÃO PARA TROCA DO MOTOR 3

Motor 3 40 cv			
Opções	Potência no eixo (cv)	Potência (cv)	Carregamento (%)
1.1	27,43	30	91%
0	27,43	40	68%
1.2	27,43	50	54%

O motor 3, de acordo com a Tabela VI, possui como opção mais próxima de 100% de carregamento a 1.1, que sugere a troca do motor para um motor de 30 cv, prevendo um carregamento de 91,45%, abaixo de 100%. Para o motor 4, a Tabela VII apresenta uma de troca.

TABELA VII. OPÇÃO PARA TROCA DO MOTOR 4

Motor 4 40 cv			
Opções	Potência no eixo (cv)	Opções de motores	Carregamento (%)
0	34,68	40	86%
1.1	34,68	50	69%

Observando a Tabela VII, têm-se duas opções para o motor 4, sendo a opção 0 a que oferece maior carregamento para o motor. Para o motor 5, os resultados são apresentados na Tabela VIII.

TABELA VIII. OPÇÃO PARA TROCA DO MOTOR 5

Motor 5 30 cv			
Opções	Potência no eixo (cv)	Opções de motores	Carregamento (%)
1.1	21,13	25	84%
0	21,13	30	70%
1.2	21,13	40	52%

Para o motor 5 a sugestão que mais viabiliza a troca segundo a análise de carregamento é o motor com a potência

de 25 CV, pois aumenta o carregamento deixando-o mais próximo de 100%. A opção 0 desta tabela, segue a mesma idéia das opções 0 para os motores 1 a 4. A Tabela IX apresenta os resultados para o motor 6.

TABELA IX. OPÇÃO PARA TROCA DO MOTOR 6

Motor 6 – 30 cv			
Opções	Potência no eixo (cv)	Potência (cv)	Carregamento (%)
1.1	19,25	20	96%
1.2	19,25	25	77%
0	19,25	30	64%

Segundo a Tabela IX, há duas sugestões para o motor 6, sendo a opção de troca para o motor de 20 cv a que aumenta o carregamento e o mantém inferior a 100%.

C. Trocas possíveis de motores a partir do consumo

Esta seção refere-se a análise da troca de motores por motores que consomem uma menor quantidade de energia elétrica por ano. Esta análise realmente mostrará quais opções apresentadas na seção anterior irão consumir a menor quantidade de energia elétrica e a que custo financeiro. Aqui serão utilizados motores IR2 e IR3, das opções apresentadas na seção anterior.

A Tabela X apresenta dentre as opções listadas na Tabela IV, no sentido crescente do custo da energia elétrica consumida por ano, as opções tecnicamente viáveis para troca do motor 1.

TABELA X. OPÇÃO PARA TROCA MOTOR 1 POR MENOR CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL

Motor 1 – 50 cv/4 Polos/IR2			
Opções	Potência (cv)	Índice de rendimento	Custo do Consumo Energia Elétrica/ano (R\$/ano)
1.1	25	IR3	39.906,88
1.3	40	IR3	40.000,95
1.2	30	IR3	40.024,10
1.2	30	IR2	40.446,41
1.1	25	IR2	40.453,71
1.3	40	IR2	40.634,48
0	50	IR3	45.482,27
0	50	IR2	46.184,73

A partir da Tabela X podemos notar que caso seja realizado a troca pela opção 1.1/IR3 (25 cv), haverá uma economia mínima de R\$ 6.277,85 por ano em relação a opção 0/IR2. Esta é, então, a opção econômica mais atraente.

Interessante destacar que a segunda opção mais viável é o motor de 40 cv/IR3, o que mostra que o índice de rendimento além do carregamento afeta fortemente no ranqueamento das opções economicamente mais atraentes. Na sequência

aparecem as opções de 30 cv e na quinta posição aparece o motor de 25 cv/IR2.

Já a Tabela XI apresenta dentre as opções listadas na Tabela V, as opções tecnicamente viáveis para troca do motor 2 do ponto de vista do menor custo de energia elétrica.

TABELA XI. OPÇÃO PARA TROCA DO MOTOR 2 POR MENOR CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL

Motor 2 – 50 cv/4 Polos/IR2			
Opções	Potência (cv)	Índice de rendimento	Custo do Consumo Energia Elétrica/ano (R\$/ano)
0	50	IR3	91.542,77
0	50	IR2	92.640,36

A partir da Tabela XI observa-se que caso seja realizado a troca pela opção de rendimento IR3, haverá uma economia de R\$ 1.097,59 por ano.

A Tabela XII, apresenta dentre as opções listadas na Tabela VI, as opções tecnicamente viáveis para a troca do motor 3 dos pontos de vista do menor custo da energia elétrica consumida.

TABELA XII. OPÇÃO PARA TROCA DO MOTOR 3 POR MENOR CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL

Motor 3 – 40 cv/4 Polos/IR2			
Opções	Potência (cv)	Índice de rendimento	Custo do Consumo Energia Elétrica/ano (R\$/ano)
1.2	50	IR3	51.354,77
0	40	IR3	51.380,57
1.1	30	IR3	51.653,26
1.2	50	IR2	52.127,50
0	40	IR2	52.129,10
1.1	30	IR2	52.138,04

A partir da Tabela XII observa-se que caso seja realizada a troca pela opção 0/IR3 haverá uma economia de R\$ 774,33 por ano, em relação ao custo do motor 3 de 40 cv/IR2. Entretanto, ao realizar o estudo, aumentando a potência do motor a ser comprado, isto é, um motor de 50 cv, rendimento IR3 (opção caracterizada na tabela como 1.2), verifica-se que mesmo com a redução do carregamento para 54,87%, o rendimento deste motor, neste carregamento, é maior e gera o menor custo da energia elétrica consumida por ano. Desta forma, vê-se que, tecnicamente em um processo de redimensionamento de motores em operação, nem sempre o aumento do carregamento originado pela redução da potência nominal gera o menor custo do consumo de eletricidade. Apesar do bom resultado técnico, este não é conclusivo, visto que o preço de compra do motor de 40 cv ou 30 cv é bem diferente do motor de 50 cv, e uma análise envolvendo o custo da eletricidade e o investimento inicial, deve ser realizada [2] [7]. A Tabela XIII apresenta os resultados para o motor 4.

TABELA XIII. OPÇÃO PARA TROCA DO MOTOR 4 POR MENOR CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL

Motor 4 – 40 cv/4 Polos/IR2			
Opções	Potência (cv)	Índice de rendimento	Custo do Consumo Energia Elétrica/ano (R\$/ano)
1.1	50	IR3	64.518,22
0	40	IR3	64.781,45
1.1	50	IR2	65.400,69
0	40	IR2	65.629,49

A partir da Tabela XIII nota-se que caso seja realizada a troca por motor de mesma potência tipo IR3, haverá uma economia de R\$ 848,04 kWh por ano. Se trocar por um motor de 50 cv (1.1), como no caso anterior, o carregamento cai para 69,36%, e esta economia aumenta para R\$ 1.111,27 por ano. Entretanto, a análise também do investimento inicial deve ser realizada para viabilidade técnica e econômica [2] [7].

A Tabela XIV apresenta os resultados financeiros para o motor 5, entrando na faixa dos motores de 30 cv.

TABELA XIV. OPÇÃO PARA TROCA DO MOTOR 5 POR MENOR CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL

Motor 5 – 30 cv/4 Polos/IR2			
Opções	Potência (cv)	Índice de rendimento	Custo do Consumo Energia Elétrica/ano (R\$/ano)
1.1	25	IR3	39.727,82
1.2	40	IR3	39.827,78
0	30	IR3	39.847,72
0	30	IR2	40.268,74
1.1	25	IR2	40.271,38
1.2	40	IR2	40.459,25

Já na Tabela XIV vê-se que caso seja realizada a troca pela opção 1.1/IR3, isto é, reduzindo a potência para 25 cv e aumentando o carregamento haverá uma economia de R\$ 540,92 por ano em relação à opção 0/IR2, motor de 30 cv. Vê-se que na troca por um motor de maior potência nominal não gera bons rendimentos. Vale destacar que para este caso, apenas a opção 1.1/IR3 gera economia, enquanto a opção 1.1/IR2 tem rendimentos piores que o do motor em operação. A seguir é apresentada a Tabela XV com resultados para o motor 6.

Na Tabela XV nota-se que caso seja realizada a troca pela opção 1.1/IR3, haverá uma economia de R\$ 769,62 por ano. Veem-se baixas economias neste motor apesar do baixo carregamento em operação, apesar de que o valor de compra menor do motor de 20 cv, em relação ao motor de 30 cv.

Caso as opções que terão mais economia de consumo energético, incluindo os motores 3 e 4, sejam adotadas na indústria a economia total em um ano seria de R\$:10.571,57 em gastos em consumo da energia elétrica pelos motores.

TABELA XV. TABELA 15 – OPÇÃO TROCA ENERGIA MOTOR 6

Motor 6 – 30 cv/4 Polos/IR2			
Opções	Potência (cv)	Índice de rendimento	Custo do Consumo Energia Elétrica/ano (R\$/ano)
1.1	20	IR3	36.009,12
1.2	25	IR3	36.218,30
0	30	IR3	36.384,88
1.1	20	IR2	36.386,04
1.2	25	IR2	36.696,88
0	30	IR2	36.778,74

V. CONCLUSÃO

Tendo em vista os aspectos observados foi possível e exposto em correta análise que no dia-a-dia da indústria a troca de motores não deve ser realizada de forma arbitrária, e sim a partir da medida do carregamento dos motores em operação, análise esta dificilmente utilizada por profissionais com conhecimento adquirido “na prática”. Este trabalho comprovou a não eficácia de apresentar o carregamento como a relação entre a corrente medida e a corrente nominal: pode haver uma diferença entre o real carregamento de até 10 p.p. e este fato é explicado devido a não linearização da função Carregamento x Corrente

Neste artigo foi apontado que para que haja uma análise técnico-econômica mais rígida, deve ser levado em consideração o rendimento atual do motor e isso não implica em afirmar que a melhor opção de troca será alcançada com as opções de menor potência nominal e maior rendimento.

O trabalho ficou limitado ao estudo de apenas 6 motores presentes na indústria, entretanto foram os de maior potência nominal, conseqüentemente os de maior consumo elétrico. Assim, é sugerida a mesma análise para os demais motores e

também é sugerida uma análise econômica mais aprofundada levando em consideração o preço de compra de cada motor (opção para a troca), que varia com a mudança da potência nominal, e a evolução da tarifa de energia elétrica, que no Brasil possui uma razoável taxa de escalada.

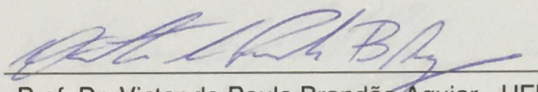
REFERENCIAS

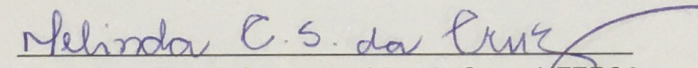
- [1] Câmara dos Deputados. LEI Nº 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001 - Publicação Original, 2019. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2001/lei-10295-17-outubro-2001-408176-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 01, Agosto e 2019.
- [2] EPE. Consumo Anual de Energia Elétrica por classe (nacional), 2019. Disponível em: <[http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica/consumo-anual-de-energia-eletrica-por-classe-\(nacional\)](http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica/consumo-anual-de-energia-eletrica-por-classe-(nacional))>. Acesso em: 01, Agosto e 2019.
- [3] PROCEL, Conversão de Energia Eficiência Energética de Equipamentos. "PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica."
- [4] Chapman, Stephen J. "Fundamentos de máquinas elétricas". AMGH Editora, 2013.
- [5] WEG. Catálogo motores W22 baixa tensão. **WEG**, 2019. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Usos-Gerais/W22/c/BR_MT_3PHASE_LV_W22?h=7c3e5324>. Acesso em: 01, Agosto e 2019.
- [6] AGUIAR, Victor de Paula Brandão. "Avaliação técnico-econômica do aumento do rendimento em motores de indução trifásicos de baixa potência após rebobinagem." 2018. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- [7] Garcia, Agenor Gomes Pinto. "Impacto da lei de eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria." 2003. 139 f. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

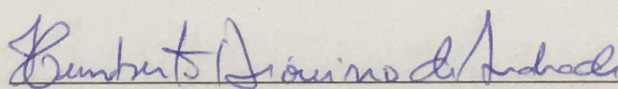
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às oito horas do dia quatorze de Agosto de dois mil e dezenove, na cidade de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, Brasil, no laboratório de instalações elétricas e máquinas elétricas, campus leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, reuniu-se a banca examinadora do trabalho de conclusão de curso de **Marcos Antônio Lima de Medeiros Júnior**, aluno do curso de Engenharia Elétrica desta instituição, número e matrícula 2017002407, com o título: "**Análise energética da troca de motores de indução trifásicos analisando o carregamento *in loco***". A banca examinadora foi constituída pelo orientador e presidente da banca, Prof. Dr. **Victor de Paula Brandão Aguiar**, pelo Prof. Dr. **Humberto Dionísio de Andrade**, e pela Profa. Dra. **Melinda Cesianara Silva da Cruz**. Foram registradas as seguintes ocorrências: O trabalho foi apresentado pelo discente e, em seguida, houve arguição por parte dos membros da banca examinadora. A defesa do trabalho foi pública. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, que apontaram as respectivas notas: 7,0, 9,0, e 9,0; Estando, portanto, o aluno com média geral 8,3, cumprindo as exigências para a integralização do componente curricular AMB1435 - PROJETO DE ENGENHARIA ELÉTRICA. Para constar, eu, Victor de Paula Brandão Aguiar, lavrei a presente ata, que após lida e considerada conforme, será assinada por todos os membros da banca.

Mossoró/RN, 14 de Agosto de 2019.


Prof. Dr. Victor de Paula Brandão Aguiar - UFRSA
Presidente da Banca


Profa. Dra. Melinda Cesianara Silva da Cruz - UFRSA
Primeiro Membro


Prof. Dr. Humberto Dionísio de Andrade - UFRSA
Segundo Membro