

Avaliação Técnico-Econômica da Troca de Motores Industriais pela Análise do Carregamento e Cálculo da Economia Líquida em uma Indústria Salineira

Kelly C. D. Lima, Marcos Antônio L. M., Jr.*, Victor P. B. Aguiar,
Raclenir L. Galvão, Adriano A. F. de Moura, Ricardo S. T. Pontes**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN 59625-900

Brasil (Tel: 84-33178330 Ramal 1531; e-mail: kellylima@hotmail.com, victor@ufersa.edu.br, raclenirlopes@gmail.com, adrianoaron@ufersa.edu.br).

** Fusion Engenharia, Mossoró, RN*

Brasil (e-mail: fusionengenharia@outlook.com.br)

***Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil, (e-mail: ricthe@dee.ufc.br)*

Abstract: This work presents technical and economic assessment of the induction motors in a salt industry located in Mossoro city's rural area, Rio Grande do Norte state, the largest sea salt producer in Brazil. In this paper, we present the loaded motors replacement by high efficiency motors (IR3) from a technical analysis based on energy performance however the most important to decision-making is the cost-effectiveness during all motor lifecycle. The preliminary results must be highlighted because among four partially loaded motors studied, in only two motors the cost-effectiveness is about US\$ 9.600,00 for the two new motors lifecycle together. The investment for acquisition of those motors is about US\$ 4.300,00, i.e. the net savings during all motors lifecycle are the double of necessary investment for it.

Resumo: O trabalho apresenta uma avaliação técnico-econômica no parque de motores de uma indústria salineira na região rural da cidade de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, maior produtor de sal marinho do país. Na avaliação são apresentadas as trocas de motores em operação por motores de alto rendimento (IR3) a partir de uma avaliação técnica, analisando o consumo energético, mas tendo como informação importante para a tomada de decisão a melhor relação custo-benefício ou rentabilidade durante toda a vida útil dos motores. Resultados preliminares devem ser destacados, pois a troca de apenas dois dos quatro maiores motores elétricos subdimensionados geram rentabilidades em torno de R\$ 40.000,00 durante a vida útil do novo motor, onde o investimento para aquisição destes dois motores gira em torno de R\$20.000,00, i.e., economias líquidas durante a vida útil do motor são o dobro do investimento necessário.

Keywords: Three-phase induction motor, efficiency, energy escalation rate, life cycle cost and cost-effectiveness.

Palavras-chaves: motor de indução trifásico, rendimento, taxa de escalada de energia elétrica, custo do ciclo de vida e relação custo-benefício/rentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Os Motores de Indução Trifásicos (MIT) com rotores gaiola de esquilo produzidos no Brasil são do tipo IR3, nível este equivalente ao *Premium* (E.U.A) e ao IE3 (Europa). Este é índice mínimo de desempenho energético conhecido como *Minimum Efficiency Performance Standard* (MEPS) do MIT desde Agosto de 2019 no país (Brasil 2017), e o novo programa de metas mostra que a vanguarda do país em relação à maioria dos países industrializados, pois torna obrigatórios altos MEPS para seus motores elétricos dentro de uma larga faixa de potências assim como nos E.U.A. (Aguiar 2018, Andrade et al. 2017).

Essa nova realidade mostra que a análise técnica e econômica tradicional deve ser melhorada. Conforme Aguiar (2018) e

Andrade et al. (2017) a análise do custo do ciclo de vida em trocas de motores, envolvendo novas tecnologias e sua aplicabilidade, mostra bons resultados tanto para equipamentos quanto para avaliações de programas de promoção da eficiência energética em motores elétricos (Aguiar et. al 2018).

Entretanto, a troca de motores não é tarefa trivial, pois além do crescimento da tarifa de energia elétrica que nos leva a identificar o real custo da energia elétrica consumida durante toda a sua vida útil, o carregamento do motor atual e o carregamento do novo motor devem ser analisados (Ferreira et al. 2018). Em geral, motores operam em uma faixa entre 50% e 80% de carregamento. Desta forma a troca deve ser realizada por motor de menor potência e maior carregamento (Ferreira et al. 2012)? E qual o impacto financeiro destas

trocas quando temos opções do tipo IR3, mais eficientes e mais caros? O objetivo deste trabalho é responder tais perguntas objetivamente, utilizando o parque de motores de uma indústria salineira na cidade de Mossoró/RN para o refino, envase e distribuição do produto final.

2. MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Para os motores de indução trifásicos (MIT) com rotor gaiola de esquilo é necessário compreender a operação e desempenho desta máquina na tensão e frequência nominal (IEEE 2018).

2.1 Circuito Equivalente, Rendimento e Carregamento

Visto que há interesse em prever o desempenho do MIT, o circuito equivalente mostra-se o modelo mais adequado, pois em sua natureza permite uma medição indireta do rendimento e do torque máximo (IEEE 2018). A Figura 1 apresenta o circuito equivalente monofásico normalizado.

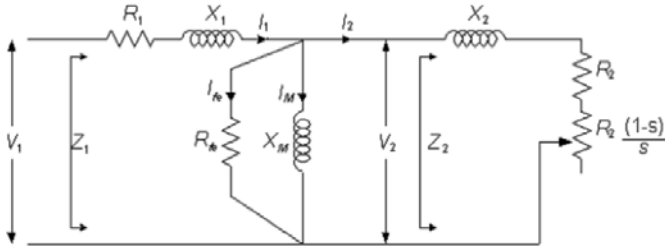


Fig. 1 Circuito equivalente monofásico do MIT (IEEE 2018).

No balanço energético do MIT, podemos identificar as perdas isoladamente. Inicialmente, após o ensaio a vazio as perdas no ferro (\$P_{fe}\$) são medidas e, conseqüentemente, o valor da corrente \$I_{fe}\$ é desprezível e a resistência equivalente \$R_{fe}\$ é muito grande. Desta forma o cálculo da potência entregue ao entreferro (\$P_g\$) é dado por:

$$P_g = P_{ent} - 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2 - P_{fe}, \quad (1)$$

onde \$P_{ent}\$ é a potência elétrica de entrada no MIT, \$R_1\$ é a resistência do estator por fase e \$I_1\$ é a corrente do estator.

A partir de (1) são calculadas as perdas no rotor em função do escorregamento (\$s\$). As perdas suplementares (\$P_{sup}\$) são medidas indiretamente a partir de ensaios da máquina em carga enquanto as perdas mecânicas do MIT (\$P_{AV}\$) são medidas indiretamente nos ensaios a vazio, em conjunto com \$P_{fe}\$. Pelas informações anteriores é possível mostrar o somatório das perdas do MIT (\$P_{per}\$):

$$P_{per} = 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2 + P_{fe} + s \cdot P_g + P_{sup} + P_{AV}. \quad (2)$$

Assim é possível calcular indiretamente o rendimento (\$\eta\$) do MIT.

$$\eta = \left(1 - \frac{P_{per}}{P_{ent}} \right) \cdot 100\%. \quad (3)$$

Observando (1), (2) e (3) verifica-se que o rendimento é função direta da corrente \$I_1\$ do escorregamento \$s\$ e de \$P_{sup}\$. Assim, curvas que envolvam tais grandezas e o rendimento

são importantíssimas para previsão de operação do MIT. A potência no eixo (\$P_{eixo}\$) é definida a partir de (3):

$$P_{eixo} = \eta \cdot P_{ent}. \quad (4)$$

Assim, o carregamento (\$L\$) é definido em (5):

$$L = \frac{P_{eixo}}{P_n} \cdot 100\%, \quad (5)$$

onde \$P_n\$ é a potência nominal do MIT.

Importante observar que a grandeza carregamento também varia com o rendimento e, conseqüentemente, com a corrente \$I_1\$, o escorregamento \$s\$ e \$P_{sup}\$. Curvas envolvendo estas grandezas também ajudam na previsão da operação do MIT, entretanto a curva \$[\eta \times L]\$ é a visão mais ampla e irrestrita da operação do MIT e de grande importância no dimensionamento e projeto de ações de eficiência energética envolvendo MIT.

2.2 Análise do Custo do Ciclo de Vida

O custo do ciclo de vida (\$C_{CV}\$) de um MIT para uma análise de troca de motores é bem simplificado, conforme se observa em (6):

$$C_{CV} = I + E, \quad (6)$$

onde \$I\$ é o investimento inicial do projeto (aquisição, instalação e comissionamento, teste, proteção e controle) e \$E\$ é o custo da eletricidade durante o ciclo de vida, não sendo necessário contabilizar outros custos devido a semelhança tecnológica entre os equipamentos (Aguiar 2018).

O investimento realizado para a compra do MIT é realizado totalmente antes da entrada em operação, entretanto o custo da energia elétrica requer uma contabilização correta. O custo anual da energia elétrica consumida por um MIT (\$C_E\$) é dada em (7):

$$C_E = \frac{P_n \cdot L \cdot T(t) \cdot H}{\eta(L)}, \quad (6)$$

onde \$T\$ é a tarifa da eletricidade em R\$/kWh que varia no tempo (\$t\$), \$\eta\$ é o rendimento que varia com \$L\$ e, \$H\$ é a variável relativa as horas por ano de operação do MIT (Aguiar 2018).

Já o aumento da tarifa de eletricidade é baseado num valor médio obtido a partir de séries históricas de dados mostrando a tendência (Aguiar 2018, Andrade et al. 2017, Fuller et al. 1996). Esta é a taxa de escalada da energia elétrica (\$\hat{e}\$) e baseia-se na média anual das diferenças entre aumento da tarifa da energia elétrica e o aumento da inflação. Serão utilizados dados de 1996 a 2018, e esta taxa será de 3,08% a.a., mostrando a influência do ano de 2018 sobre as séries de dados apresentada em Aguiar (2018). Considerando o custo do ciclo de vida por ano (\$C_I\$), e o custo de investimento (\$C_I\$):

$$C_I = C_E + C_I. \quad (7)$$

Conforme equação (7), em (8) é apresentado o valor presente líquido (\$VPL\$) do fluxo de caixa de um motor em função da taxa de desconto (\$d\$) e da taxa de escalada de energia, \$\hat{e}\$, alterando o valor da tarifa (\$T\$) a cada parcela, e considerado a

passagem de tempo anual e um ciclo de vida do motor de m anos.

$$VP = \sum_{t=0}^m C_t \cdot \left(\frac{1+\hat{e}}{1+d} \right)^t. \quad (8)$$

2.3 Método da Economia Líquida

O método da economia líquida é considerado um método de medição da relação custo-benefício, ou rentabilidade, entre projetos de eficiência energética (Andrade et al. 2017, Fuller et al. 1996). Para a troca de motores sendo a opção atual considerada de baixo rendimento (br) e a nova opção considerada de alto rendimento (ar), em (9) é apresentado valor presente líquido para a opção de baixo rendimento (VP_{br}):

$$VP_{br} = \sum_{t=1}^{m_{br}} \left[C_{Ebr} \cdot \left(\frac{1+\hat{e}}{1+d} \right)^t \right] + \sum_{t=0}^{m_{br}} \left[\frac{C_{lbr}}{(1+d)^t} \right], \quad (9)$$

onde m_{br} é o ciclo de vida do motor de baixo rendimento, m'_{br} é a quantidade de parcelas de investimento neste motor, C_{Ebr} é o custo da eletricidade do motor de baixo rendimento e C_{lbr} é o custo do investimento do motor de baixo rendimento, ambos por ano. Na equação (10), há também uma expressão para o valor presente líquido para a opção de alto rendimento (VP_{ar}):

$$VP_{ar} = \sum_{t=1}^{m_{ar}} \left[C_{Ear} \cdot \left(\frac{1+\hat{e}}{1+d} \right)^t \right] + \sum_{t=0}^{m_{ar}} \left[\frac{C_{lar}}{(1+d)^t} \right], \quad (10)$$

onde m_{ar} , m'_{ar} , C_{Ear} e C_{lar} são grandezas equivalentes as apresentadas em (9) para o motor de alto rendimento.

A partir de (9) e (10), é apresentada a economia líquida, também conhecida como *net savings* (NS) para a nova opção de motor no processo de troca:

$$NS = VP_{br} - VP_{ar}. \quad (11)$$

Para o caso mais geral onde os investimentos são todos realizados antes da operação, i.e., em $t=0$, (10) aplicada em (11) é:

$$NS = \sum_{t=1}^{m_{br}} \left[C_{Ebr} \cdot \left(\frac{1+\hat{e}}{1+d} \right)^t \right] - \sum_{t=1}^{m_{ar}} \left[C_{Ear} \cdot \left(\frac{1+\hat{e}}{1+d} \right)^t \right] - (C_{lar} - C_{lbr}). \quad (12)$$

Mediante a consideração que ambos os MIT, de baixo rendimento e alto rendimento têm o mesmo tempo de ciclo de vida ($m_{br} = m_{ar} = m$), (12) é simplificada:

$$NS = \sum_{t=1}^m \left[(C_{Ebr} - C_{Ear}) \cdot \left(\frac{1+\hat{e}}{1+d} \right)^t \right] - (C_{lar} - C_{lbr}). \quad (13)$$

Para valores de NS positivos consideramos que os projetos são viáveis financeiramente, para NS negativa consideramos os projetos não viáveis e, para $NS=0$ estes são considerados projetos no limite da viabilidade.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados dados e procedimentos utilizados na análise de carregamento do MIT e na utilização do método da economia líquida na avaliação realizada em uma indústria salineira localizada na cidade de Mossoró, RN.

3.1 Informações sobre a Indústria Salineira e Quantitativo de Motores

A empresa conta com 62 motores trifásicos em potências que variam de 3 a 50 cv. É certo que os motores presentes no local possuem mais de 10 anos em funcionamento e com programas de manutenção corretiva e preventiva. Uma avaliação da troca dos motores atuais por outros mais eficientes, inferindo seus carregamentos médios demandados é de grande interesse. A indústria salineira conta com o esquema elétrico apresentado na Fig. 2.

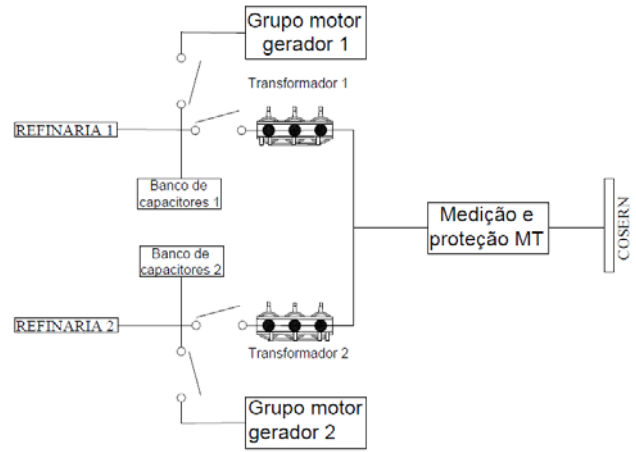


Fig. 2 Esboço do esquema elétrico da planta da indústria de refino de sal em Mossoró, RN.¹

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

Tabela 1. Quantitativo de MIT na Indústria

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

Pelo critério de maior potência foram escolhidos para realização desta análise preliminar os seis maiores motores presentes na refinaria: os pares de 30 cv, 40 cv e 50 cv para realização do estudo. Os motores de maior potência impactam no maior processamento de energia elétrica por equipamento individual, e leva-se em conta a importância dentro do processo fabril.

¹ COSERN – Companhia Energética do Rio Grande do Norte.

3.2 Medição das Correntes e Verificação

Para realizar a análise de carregamento e de rendimento foram mensurados os valores de correntes nos motores *in situ*, conforme Fig. 3.



Fig. 3 Medição das correntes.

O equipamento utilizado foi o alicate-wattímetro modelo ET-4080/Minipa®. As medições foram realizadas em datas e turnos disponibilizados pela empresa e em intervalos de tempo de 10 minutos entre as medições, durante um turno completo para um único motor, i.e., vários dados de corrente foram medidos para um único motor. Usando equipamento de proteção adequado para situação, as seguintes etapas para aferição das correntes dos motores foram seguidas: 1) Identificação das fases do motor; 2) Conferir a configuração do alicate-wattímetro e; 3) Medição da corrente em cada fase. Estes três passos foram realizados em intervalos de 10 minutos, por pelo menos 10 vezes (30 medições de correntes nas fases a, b e c) para cada motor analisado.

3.3 Índice de Rendimento dos MIT em Operação

Sobre os motores da indústria em questão, eles foram adquiridos há mais de 10 anos. Sendo assim foi assumido que os motores presentes na refinaria seriam da classe IR2 – índice de rendimento 2 (Aguiar 2018). Essa consideração deixa a análise técnica mais conservadora conforme Aguiar (2018), Andrade et al. (2017) e Fuller et al. (1996), isto é, com esta consideração, se houver viabilidade técnico-econômica, não há possibilidade da inviabilidade econômica da troca.

Ratificando o parágrafo anterior se em uma troca de motores existirem viabilidade técnica e econômica para a condição apresentada, no caso de um rendimento real abaixo ou igual ao IR1 para os motores em operação, a economia líquida do motor de alto rendimento será ainda maior (Aguiar 2018).

3.4 Carregamento e Rendimento dos MIT

A partir de dados coletados no sítio eletrônico de uma fabricante de motores (WEG 2019), foram disponibilizadas

as curvas: “Carregamento x Corrente” e “Carregamento x Rendimento”. As referências utilizadas para consulta no site foram W22, IR2 e IR3, Potências de 20 cv a 50 cv, 4 pólos, 60Hz, 380 V. As Fig. 4 e Fig. 5 exemplificam o modelo de curvas encontradas no sítio eletrônico. Esse procedimento foi realizado para todos os motores necessários na análise.

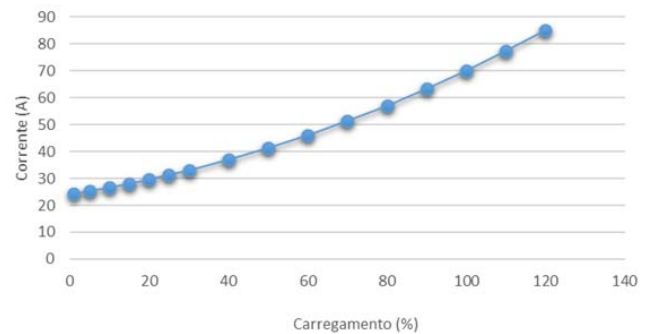


Fig. 4 Curva “Corrente x Carregamento”, exemplo para o motor W22 IR2 50 cv 2P 380 V 60 Hz.

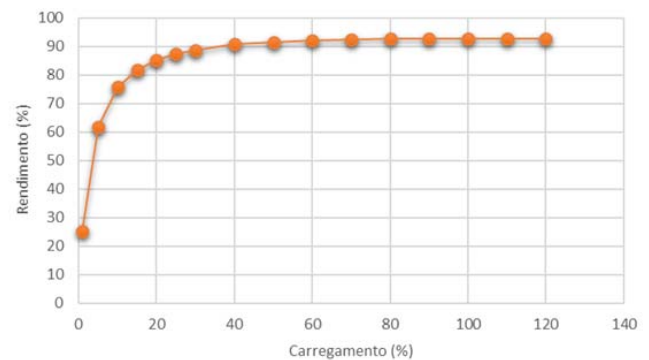


Fig. 5 Curva “Rendimento x Carregamento”, exemplo para o motor W22 IR2 50 cv 2P 380 V 60 Hz.

Na Tabela 2 estão expressos os resultados médios medidos das correntes dos motores, e os valores inferidos de carregamento e rendimento a partir das curvas obtidas para motores IR2, como anteriormente delineadas.

Tabela 2. Correntes Médias (Medidas), Carregamento e Rendimento (a Partir das Curvas do Fabricante)

Ref.*	MIT	P_n (cv) / pólos	I_l (A)	L (p.u.)	η (%)
1	1	50 / 4	37,96	0,481	91,05
2	2	50 / 4	67,10	0,985	92,91
1	3	40 / 4	41,42	0,686	91,95
2	4	40 / 4	49,17	0,867	92,33
1	5	30 / 4	31,51	0,704	91,66
2	6	30 / 4	29,51	0,642	91,46

*Refinaria

3.5 Dados para Análise Econômica

Há dois dados muito importantes para as análises propostas: horas de operação dos motores por ano e tarifa média desta

indústria. A quantidade de horas trabalhadas no ano por cada motor é de 4368 horas.

Tabela 3. Opções para Troca do MIT 1, MIT 3, MIT 5 e MIT 6 por Ordem Crescente do Custo de Energia Elétrica por Ano

MIT 1 – 50 cv – 4 pólos – IR2					
Opções	P_n (cv)	L (p.u.)	I_l (A)	η (%)	C_E (R\$/ano)
1.1	25	0,849	30,01	92,9	39.906,88
1.2	40	0,531	34,09	92,7	40.000,95
1.3	30	0,707	31,22	92,6	40.024,10
1.0	50	0,424	36,46	92,4	45.482,27
MIT 3 – 40 cv – 4 pólos – IR2					
Opções	P_n (cv)	L (p.u.)	I_l (A)	η (%)	C_E (R\$/ano)
3.1	50	0,549	42,32	93,34	51.354,77
3.0	40	0,686	40,56	93,29	51.380,57
3.2	30	0,915	38,40	92,80	51.653,26
MIT 5 – 30 cv – 4 pólos – IR2					
Opções	P_n (cv)	L (p.u.)	I_l (A)	η (%)	C_E (R\$/ano)
5.1	25	0,845	29,90	92,91	39.727,83
5.2	40	0,528	33,99	92,68	39.827,78
5.0	30	0,704	31,12	92,63	39.847,72
MIT 6 – 30 cv – 4 pólos – IR2					
Opções	P_n (cv)	L (p.u.)	I_l (A)	η (%)	C_E (R\$/ano)
6.1	20	0,963	28,43	93,42	36.009,12
6.2	25	0,770	27,74	92,88	36.218,30
6.0	30	0,642	29,18	92,45	36.384,88

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, considerando a sensibilidade da tarifa aplicada a estudos realizados no Brasil: relacionadas a diversidade de concessionárias de energia elétrica, regiões e estados (Andrade et. al 2017, Aguiar 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Entre os motores apresentados na Tabela 2, os que estavam com carregamentos baixos e, claramente, deveriam ser analisados foram os MIT 1, 3, 5 e 6 (carregamentos abaixo de 80%). Todos os motores de alto rendimento são do tipo IR3. A Tabela 3 apresenta os resultados para os MIT 1, MIT 3, MIT 5 e MIT 6, observando apenas C_E . Todos os motores operavam em carga com variação desprezível para a análise.

Observa-se que os motores 1.0, 3.0 5.0 e 6.0 são motores de mesma potência, mas do tipo IR3 (maior rendimento). A partir do custo anual da energia elétrica apenas no MIT 3 a opção de troca por motor de maior potência e redução de carregamento tem o melhor custo anual da energia elétrica. Do ponto de vista puramente do consumo de energia elétrica, os custos desta energia consumida por ano deveria ser um indicativo para a troca de motores, entretanto não é avaliado o caráter econômico composto pelo investimento para a aquisição do motor de melhor rendimento. Outro fato

importante é observado no MIT 1, onde a troca do motor de 50 cv por um motor de 40 cv/IR3 gera um menor custo da energia elétrica consumida em relação ao motor de 30 cv/IR3.

O mesmo é observado no MIT 5 onde a troca de um motor de 30 cv por um de 40 cv/IR3 gera um menor custo da energia elétrica que a troca por um motor de 30 cv/IR3. No MIT 3 destaca-se que o mesmo ocorre mas o elevado custo na troca de um motor 40 cv por um motor de 30 cv/IR3 faz com a troca do motor de 40 cv por outro de mesma potência (IR3) seja mais eficiente do ponto de vista puramente energético.

Agora, aplicando o método da economia líquida pode ser visualizado o real impacto financeiro da troca de motores e a classificação da viabilidade econômica de cada motor para a troca. De acordo com Andrade et al. (2017), o tempo médio de vida útil dos motores da avaliação é de 20 anos, exceto para motores de 50 cv, que é de 25 anos. Entretanto para esta análise, o tempo médio de vida útil dos motores de 50 cv foi de 20 anos também, exceto quando a troca é entre motores de 50 cv (25 anos). Para os preços dos motores em operação, foi considerada a lista de preços médios de motores do mercado brasileiro, conforme Andrade et al. (2017). Tais preços para os motores IR2 foram convertidos para R\$ a partir da cotação média do mês de Setembro de 2016 (3,22 R\$/US\$) e atualizados pela inflação até Outubro de 2018. A Tabela 4 e 5 apresentam os resultados de economia líquida para uma taxa de desconto anual de 12%.

Tabela 4. Rentabilidade nas Trocas dos Motores MIT 1, MIT 3, MIT 5 e MIT 6 em Ordem Decrescente de Economia Líquida

MIT 1 – 50 cv – 4 pólos – IR2 – R\$ 12.309,41				
Opções	P_n (cv)	C_E (R\$/ano)	C_l (R\$)	NS (R\$)
1.1	25	39.906,88	7.960,80	10.708,77
1.3	30	40.024,10	11.066,59	6.894,49
1.2	40	40.000,95	13.976,22	3.951,32
1.0	50	45.482,27	15.466,04	1.488,86
MIT 3 – 40 cv – 4 pólos – IR2 – R\$ 11.102,93				
Opções	P_n (cv)	C_E (R\$/ano)	C_l (R\$)	NS (R\$)
3.0	40	51.380,57	13.976,22	30.220,13
3.2	30	51.653,26	11.066,59	4.128,23
3.1	50	51.354,77	15.466,04	639,43
MIT 5 – 30 cv – 4 pólos – IR2 – R\$ 8.305,78				
Opções	P_n (cv)	C_E (R\$/ano)	C_l (R\$)	NS (R\$)
5.1	25	39.727,83	7.960,80	3.851,49
5.0	30	39.847,72	11.066,59	171,41
5.2	40	39.827,78	13.976,22	-2.919,62
MIT 6 – 30 cv – 4 pólos – IR2 – R\$ 8.305,78				
Opções	P_n (cv)	C_E (R\$/ano)	C_l (R\$)	NS (R\$)
6.1	20	36.009,12	7.063,59	6.682,92
6.2	25	36.218,30	7.960,80	2.653,08
6.0	30	36.384,88	11.066,59	- 67,87

Observa-se que a ordem das melhores trocas de motores do ponto de vista energético podem não ser as mesmas do ponto de vista econômico. A economia líquida foi apresentada comparando-se a diferença entre os investimentos e os ganhos no consumo de energia elétrica durante toda a vida útil do motor.

Os MIT 1 e 5 tiveram classificações propostas alteradas em relação à Tabela 3, entretanto a melhor opção energética é a mais viável do ponto de vista econômico. O MIT 5 também mostra que opções satisfatórias do ponto de vista energético podem não ser viáveis economicamente. Já o MIT 6 mostrou que melhores opções do ponto de vista energético também podem ser as mais rentáveis.

Destaque para a rentabilidade do MIT 1 por um motor de 25 cv/IR3 aumentando o próprio carregamento (operando mais próximo do conjugado nominal) e gerando uma economia líquida durante a vida útil do motor igual a 135% do valor do novo motor. Já a troca do MIT 3 por um de potência similar (40 cv/IR3) gera uma economia líquida de 216% do valor do novo motor que, em valor absoluto gira em torno de R\$ 30.000,00. O MIT 5 ao ser trocado por um motor de 25 cv/IR3 gera uma economia líquida de 48% do investimento inicial durante a vida útil do novo motor e no MIT 6 a troca por um motor de 20 cv/IR3 gera uma economia líquida durante a vida útil do novo motor de 95% do investimento inicial na compra deste motor.

6. CONCLUSÕES

Foi apresentada uma avaliação técnico-econômica preliminar da troca de motores em operação, especialmente subdimensionados e, que necessitavam de aumento de carregamento pela suposição da melhora de rendimento e desempenho energético e, conseqüentemente, ser viável economicamente e com a melhor rentabilidade.

Foi observado que o aumento de carregamento com a redução da potência nominal do novo motor nem sempre caracteriza maior rentabilidade, conforme visto no MIT 3. Outra conclusão importante é que não é definitivo qual troca gera a maior rentabilidade. Conforme Tabela 4, o MIT 3, sendo trocado por um motor de mesma potência nominal, mas do tipo IR3, gerou a maior rentabilidade entre as trocas apresentadas, mostrando a influência dos rendimentos, da tarifa de energia elétrica e do investimento para a compra do novo motor. A análise econômica apresentada usa ferramentas básicas da matemática financeira aliada a indexadores conhecidos e largamente utilizados em investimentos.

Por fim, a metodologia de análise do custo do ciclo de vida de equipamento foi aplicada com êxito, atendendo o objetivo do trabalho. Foram apresentados resultados que aprofundam a análise na troca de motores em operação por outros mais eficientes do ponto de vista econômico, ressaltando que nem

sempre o aumento do carregamento na troca significa melhor opção para a tomada de decisão do investimento.

Os próximos passos deste trabalho são a realização das medições de corrente de forma contínua para a confirmação destes resultados e, na sequência, a verificação das mudanças de velocidade devido as diferentes curvas “conjugado x velocidade” de cada motor para confirmação da operação sem restrições.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal Rural do Semi-Árido pelo apoio, ao professor Wilkley Correia, coordenador do LAMOTRIZ/UFC, pelo suporte necessário.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, V.P.B. (2018). *Avaliação técnico-econômica do aumento do rendimento em motores de indução trifásicos de baixa potência após rebobinagem*, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Aguiar, V. P. B., Pontes, R. S. T. e Ferreira, F. J. T. E. (2018). Technical and Economic Evaluation of Efficiency Improvement after Rewinding in Low-Power Induction Motors: A Brazilian Case. *Energies*, 11, 1701.
- Andrade, C.T.C. e Pontes, R.S.T. (2017). Economic analysis of Brazilian policies for energy efficient electric motors. *Energy Policy*, 106, 315-325.
- Brasil (2017). *Portaria Interministerial nº 1 de 29 de Junho de 2017*, Ministério de Minas e Energia, Brasília.
- Ferreira, F. J. T. E. e de Almeida, A. T. (2012). Induction motor downsizing as a low-cost strategy to save energy. *Journal of Cleaner Production*, 24, 117-131.
- Ferreira, F. J. T. E. e de Almeida, A. T. (2018). Reducing Energy Costs in Electric-Motor-Driven Systems: Savings Through Output Power Reduction and Energy Regeneration. *IEEE Industry Applications Magazine*, 1, 84-97.
- Fuller, S.K. and Petersen, S. R. (1996). *NIST Handbook 135: Life-cycle costing manual for the federal energy management program*, 210 p. NIST, Washington, DC.
- IEEE Standard test procedure for polyphase induction motors and generators (2018). *IEEE Std 112-2017 (Revision of IEEE Std 112-2004)*, pp. 1-115. IEEE, doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8291810.
- WEG. Catálogo motores W22 baixa tensão (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 de Agosto de 2019.