



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

KELLY CRISTINA DANTAS LIMA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA NO PROCESSO
DE TROCA DE MOTORES EM UMA INDÚSTRIA SALINEIRA.**

MOSSORÓ

2020

KELLY CRISTINA DANTAS LIMA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA NO PROCESSO
DE TROCA DE MOTORES EM UMA INDÚSTRIA SALINEIRA.**

Projeto de Engenharia Elétrica
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Victor de Paula
Brandão Aguiar.

MOSSORÓ
2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva

ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L732a Lima, Kelly Cristina Dantas.
APLICAÇÃO DA ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA
NO PROCESSO DE TROCA DE MOTORES EM UMA INDÚSTRIA
SALINEIRA. / Kelly Cristina Dantas Lima. - 2020.
43 f. : il.

Orientador: Victor de Paula Brandão Aguiar.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2020.

1. Motor de indução trifásico. 2. Rendimento.
3. Custo do Ciclo de vida. 4. Taxa de escalada de
energia elétrica. 5. Rentabilidade. I. Aguiar,
Victor de Paula Brandão, orient. II. Título.

KELLY CRISTINA DANTAS LIMA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA NO PROCESSO
DE TROCA DE MOTORES EM UMA INDÚSTRIA SALINEIRA.**

Projeto de Engenharia Elétrica,
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi Árido, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Mossoró, ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Victor de Paula Brandão Aguiar

Prof. Dr. Adriano Aron Freitas de Moura

Prof. Ms. Ednardo Pereira da Rocha

Dedico este trabalho a todos que mesmo não estando presentes em Terra, continuam me dando forças de outro plano astral. (In Memorian)

Dedico este trabalho a minha família e amigos que foram meus pontos de apoio em meus melhores e piores momentos durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao universo, pelo dom da vida e por tudo que me proporcionou durante esses anos.

A minha família, que é meu ponto de apoio em todo e qualquer momento, que sempre me apoiou e me guiou em minhas decisões da forma mais pura e sincera.

Aos amigos, que se fizeram presentes antes e durante essa jornada, me acompanhando lado a lado e contribuindo com meu sucesso durante o curso.

Aos meus professores, que me orientaram, guiaram e contribuíram com a ampliação do meu conhecimento ao longo desse percurso.

De forma geral, agradeço a todos que de certa forma contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional durante toda minha jornada.

“Existem coisas que não podem ser interrompidas, os desejos mais profundos, os sonhos e o avanço do tempo.”

(Gol D. Roger)

RESUMO

O trabalho apresenta uma avaliação econômica no parque de motores de uma indústria salineira localizada na região da cidade de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, Brasil, maior produtor de sal marinho do país. Na avaliação são apresentadas as trocas de motores em operação por motores de alto rendimento (IR3 Premium), a partir de um comparativo entre uma avaliação técnica já realizada anteriormente com uma avaliação econômica realizada por meio da ferramenta Life Cycle Cost Analysis (LCCA). Essa análise econômica vem para complementar à tomada de decisão apresentando a melhor relação custo-benefício durante toda a vida útil dos motores. Resultados preliminares são apresentados e devem ser enfatizados, 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.

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

ABSTRACT

The work presents an economic evaluation in the engine park of a saline industry located in the region of the city of Mossoró, state of Rio Grande do Norte, Brazil, the largest producer of sea salt in the country. In the evaluation, the exchanges of engines in operation with high-performance engines (IR3 Premium) are presented, based on a comparison between a technical assessment previously carried out with an economic assessment carried out using the Life Cycle Cost Analysis (LCCA) tool. This economic analysis comes to complement the decision making, presenting the best cost-benefit relation during the entire useful life of the engines. Preliminary results are presented and should be emphasized, as the exchange of only two of the four largest undersized electric motors generates returns of around R \$ 40,000.00 during the life of the new engine, where the investment for the acquisition of these two engines revolves around of R \$ 20,000.00, ie, net savings over the life of the engine are twice the required investment.

Keywords: three-phase induction motor, efficiency, life cycle cost, electric power escalation rate and effectiveness.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CIRCUITO EQUIVALENTE DO MIT.	19
FIGURA 2 - ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA PARA UM PC.	22
FIGURA 3 - ESBOÇO DE ESQUEMA ELÉTRICO DA PLANTA DA REFINARIA.	28

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - QUANTITATIVO DE MOTORES DA INDÚSTRIA.	29
TABELA 2 - PREÇO DOS IT IR 3 UTILIZADOS COMO OPÇÃO DE TROCA.	30
TABELA 3 - PREÇO DOS MIT IR2.	31
TABELA 4 - CARREGAMENTO E RENDIMENTO MÉDIOS DOS MOTORES.....	32
TABELA 5 - OPÇÕES DE MIT IR2 PARA TROCA DO MIT 1 DE 50 CV.	33
TABELA 6 - OPÇÕES DE MIT IR3 PARA TROCA DO MIT 1 DE 50 CV.	33
TABELA 7 - OPÇÕES DE MIT IR2 PARA TROCA DO MIT 3 DE 40 CV.	34
TABELA 8 - OPÇÕES DE MIT IR3 PARA TROCA DO MIT 3 DE 40 CV.	34
TABELA 9 - OPÇÕES DE MIT IR2 PARA TROCA DO MIT 4 DE 30 CV.	35
TABELA 10 - OPÇÕES DE MIT IR3 PARA TROCA DO MIT 5 DE 30 CV.	36
TABELA 11 - OPÇÕES DE MIT IR2 PARA TROCA DO MIT 6 DE 30 CV.	37
TABELA 12 - OPÇÕES DE MIT IR3 PARA TROCA DO MIT 6 DE 30 CV.	37

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - EXEMPLO DE FLUXO DE CAIXA.	23
GRÁFICO 2 - CUSTO DO CICLO DE VIDA.....	23
GRÁFICO 3 - EVOLUÇÃO DA TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA INDUSTRIAL MÉDIA E DA TAXA DE INFLAÇÃO NO BRASIL DE 1996 A 2018	30
GRÁFICO 4 - OPÇÕES IR2 E IR3 PARA TROCA DO MIT 1 (50 CV).	38
GRÁFICO 5 - OPÇÕES IR2 E IR3 PARA TROCA DO MIT 3 (40 CV).	38
GRÁFICO 6 - OPÇÕES IR2 E IR3 PARA TROCA DO MIT 5 (30 CV).	39
GRÁFICO 7 - OPÇÕES IR2 E IR3 PARA TROCA DO MIT 6 (30 CV).	39

LISTA DE SÍMBOLOS

P_g	Potência entregue ao entreferro
P_{ent}	Potência elétrica de entrada do MIT
P_{fe}	Perdas no ferro
R_1	Resistência do estator por fase
I_1	Corrente do estator
P_{loss}	Perdas do MIT
P_{sup}	Perdas suplementares
s	Escorregamento
η	Rendimento
P_{eixo}	Potência no eixo
P_n	Potência nominal
L	Carregamento
$T(t)$	Tarifa variando com o tempo
H	Horas de operação anual
$\hat{e}$	Taxa de escalada
d	Taxa de desconto
VP	Valor atual
VPL	Valor atual líquido
ΔI	Aumento do investimento
ΔE	Energia elétrica economizada
NS	Economia líquida

m	Ciclo de vida
m'	Tempo em que o investimento pode ser financiado
C_E	Custo do consumo de energia elétrica
C_I	Custo de investimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. PROBLEMATIZAÇÃO	16
1.2. OBJETIVOS	17
1.3. JUSTIFICATIVA	17
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1. CIRCUITO EQUIVALENTE, RENDIMENTO E CARREGAMENTO	19
2.2. ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA	21
2.3. <i>LIFE-CYCLE COST ANALYSIS (LCCA)</i>	22
2.4. ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA NA TROCA DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS.	24
2.4.1. <i>Métodos de Medição de Rentabilidade</i>	25
2.4.2. <i>Método da Economia Líquida</i>	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS.....	28
3.1. INFORMAÇÕES SOBRE A INDÚSTRIA SALINEIRA E QUANTITATIVO DE MOTORES... ..	28
3.2. ANÁLISE ECONÔMICA	29
3.2.1. <i>Taxa de escalada de energia e taxa de desconto.</i>	29
3.2.2. <i>Preço dos motores</i>	30
3.2.3. <i>Tarifa média de eletricidade e horas de operação</i>	31
3.2.4. <i>Carregamento e rendimento dos MIT.</i>	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5. CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

Nos anos de 2001 e 2002 o Brasil viveu uma crise energética que popularmente foi denominada “apagão”. Esse acontecimento fez com que o país adotasse medidas para que problemas como este não voltasse a ocorrer, umas delas sendo a lei de “Eficiência Energética”.

Apesar da lei citada anteriormente ser uma ferramenta de grande importância que auxilia na redução do consumo de energia e consequentemente garante crescimento econômico ao país, ainda há um grande problema nas indústrias que é o impacto do alto custo durante a realização de um processo. Este problema se agrava, com base no crescimento da competitividade, dentro de um mercado globalizado. Em indústrias com elevado capital, o custo operacional torna-se mais expressivo, considerando o setor de manutenção como um dos maiores geradores desses custos (AGUIAR, 2018).

Além disso, aumentou-se consideravelmente a importância pela fabricação de motores mais eficientes tendo em vista que hoje os motores de indução trifásicos (MIT) produzidos no Brasil são do tipo IR3, nos EUA o *Premium* e na Europa o IE3. Os três tipos são equivalentes em termos de desempenho energético.

Diante desse cenário, vê-se que a análise técnica econômica tradicional deve ser melhorada. Como ferramenta este trabalho propõe a aplicação da Análise do Custo de Ciclo de Vida ou *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA), com o objetivo de avaliar a rentabilidade econômica da troca de motores industriais.

A metodologia fornece passos simples de implementação com premissas que devem ser verificadas caso-a-caso dependendo da empresa e do salto tecnológico para determinada atividade em questão. Através dela (a LCCA) é possível obter resultados satisfatórios envolvendo tanto equipamentos, como também para análises de programas de promoção da eficiência energética em motores elétricos, conforme apresentado em (AGUIAR, 2018)

1.1. Problemática

O trabalho se baseia em um estudo de caso aplicado em uma refinaria salina localizada na cidade de Mossoró/RN, Brasil.

A partir de um estudo energético já realizado na empresa, com 6 motores sendo estes de 30, 40 e 50 cv, foi prevista que a troca dos mesmos não deveria ser realizada de maneira arbitrária, e sim a partir da medida do carregamento dos motores em operação. Este estudo também mostrou a necessidade de uma análise econômica mais profunda que fosse capaz de complementar o estudo já existente da troca desses motores e, para que o processo fosse realizado de maneira mais eficiente e assertiva.

Diante dessa necessidade, viu-se a importância de realizar uma análise econômica para esse processo de troca desses motores, levando-se em conta não apenas os valores financeiros relacionados ao investimento de capital, mas a economia durante a vida útil do novo motor, comparando-o ao motor já em operação (ou similar). Diante dessa realidade, propõe-se um trabalho de aplicação da Análise do Custo de Ciclo de Vida ou *Life-Cycle Cost Analysis* (LCCA), com o objetivo de demonstrar a sua eficácia na troca de motores de indução trifásicos da salineira.

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise econômica de forma complementar a análise energética da troca de motores de indução trifásicos, através da aplicação da Análise do Custo do Ciclo de Vida em um horizonte de tempo comumente relativo ao tempo de vida dos motores.

1.3. Justificativa

O LCCA é considerado uma análise econômica interessante para todo e qualquer investimento em que o capital inicial investido é responsável por diminuição de custos operacionais futuros. A implantação desta análise econômica se manifesta na redução de custo, promoção da eficiência nos investimentos e aumento no retorno econômico e financeiro. Este método busca auxiliar no desenvolvimento de uma melhor visão estratégica sob o ponto de vista econômico.

Com base nisso, a aplicação dessa ferramenta irá proporcionar resultados mais incisivos e completos diante desse estudo sobre a troca de MIT com relação à análise técnica econômica.

1.4. Organização do Trabalho

Esse trabalho está estruturado em cinco capítulos:

O capítulo 1 introduz o tema do trabalho e determina sua problematização, objetivo e justificativa.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica dos temas envolvidos na pesquisa. Define os conceitos de rendimento, carregamento e da análise do custo do ciclo de vida. Enfatizando o impacto do que foi sugerido na seção 1.

Já o capítulo 3 apresenta os materiais e método utilizados nessa pesquisa e o estudo de caso. Apresenta-se os dados de entrada para o desenvolvimento da análise econômica.

Por fim, o capítulo 4 apresenta os resultados e discussões obtidos após a realização de todos os cálculos necessários e o capítulo 5 apresenta as considerações finais do trabalho.

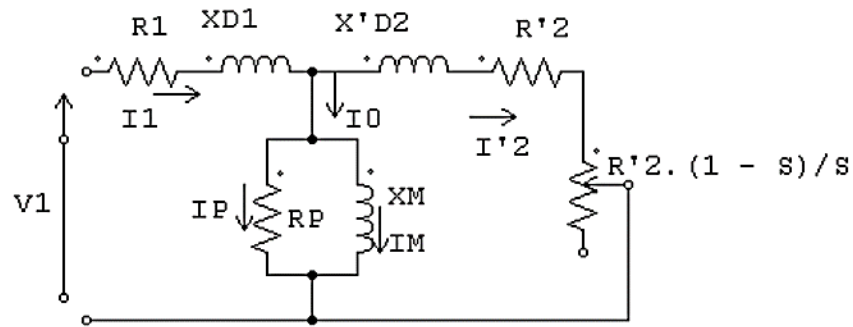
2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para os motores de indução trifásicos (MIT) é necessário entender a operação e desempenho desta máquina na tensão e frequência nominal (IEEE, 2018)

2.1. Circuito Equivalente, Rendimento e Carregamento

Para cálculo do desempenho do MIT, o circuito equivalente apresenta-se como o modelo mais adequado, pois suas características permitem uma medição indireta do rendimento e do torque (IEEE, 2018). A Figura 1 apresenta o circuito equivalente do MIT.

Figura 1 - Circuito equivalente do MIT.



Fonte: FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS EXATAS, 2016.

As perdas podem ser verificadas de forma isolada por meio do processo de balanço energético do MIT. Inicialmente, as perdas no ferro (P_{fe}) são medidas após a realização de ensaio a vazio e, conseqüentemente, o valor da corrente I_{fe} se torna desprezível e a resistência equivalente R_{fe} pode ser considerada um circuito aberto.

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.

Considerando a equação (1), são calculadas as perdas no rotor em função do escorregamento. Já as perdas suplementares são mensuradas de maneira indireta por meio de ensaios da máquina em carga, enquanto isso as perdas mecânicas são medidas indiretamente nos ensaios a vazio, em conjunto com as perdas do ferro.

Com base nas informações anteriormente vistas é possível apresentar o somatório das perdas do MIT (P_{loss}):

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

Assim, tendo conhecimento de todas as perdas do motor é possível calcular indiretamente o rendimento (η) do MIT.

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

Ao analisou-se as equações (1), (2) e (3), verifica-se que a definição de rendimento é uma função direta da corrente I_1 , do escorregamento s e das perdas suplementares P_{sup} . Dessa forma, as curvas que envolvem estas grandezas e o rendimento são de grande importância para a previsão de operação do MIT.

A definição da potência no eixo (P_{eixo}) pode ser verificada conforme a equação (3):

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

Com a equação da potência do eixo, é possível associá-la a potência nominal do motor e dessa forma obteve-se a definição do carregamento (L) de acordo com a equação (5):

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

onde (P_n) é a potência nominal do MIT.

A partir do conceito de carregamento, pode-se obter por meio da análise desse parâmetro a classificação dos motores em sobredimensionado e subdimensionado.

O termo sobredimensionamento é associado a motores com carregamento superior a 100%, desta forma, trabalhando acima do carregamento da sua potência nominal. Este comportamento pode produzir um sobreaquecimento, que consequentemente pode gerar danos ao motor (WEG, 2019).

Já no MIT subdimensionado, ocorre exatamente o efeito oposto, isto é, o motor possui um carregamento inferior a 100%, isto é, o motor está trabalhando com uma baixa capacidade, quando associada à sua potência nominal. Geralmente quando ocorre esse

fenômeno o motor possui um carregamento entre 50% e 80%, o que pode resultar em baixos índices de rendimento para a máquina (WEG, 2019).

2.2. Análise do Custo do Ciclo de Vida

Todo e qualquer bem adquirido, seja pessoal ou dentro das corporações, tem-se um ciclo de vida útil, isso se refere ao tempo em que o produto não irá mais ser capaz de desempenhar suas funções inicialmente previstas, ocasionado seja devido ao desgaste, ao alto custo durante o seu ciclo de vida para mantê-lo ou usá-lo, ou, como é mais comum atualmente, por obsolescência tecnológica.

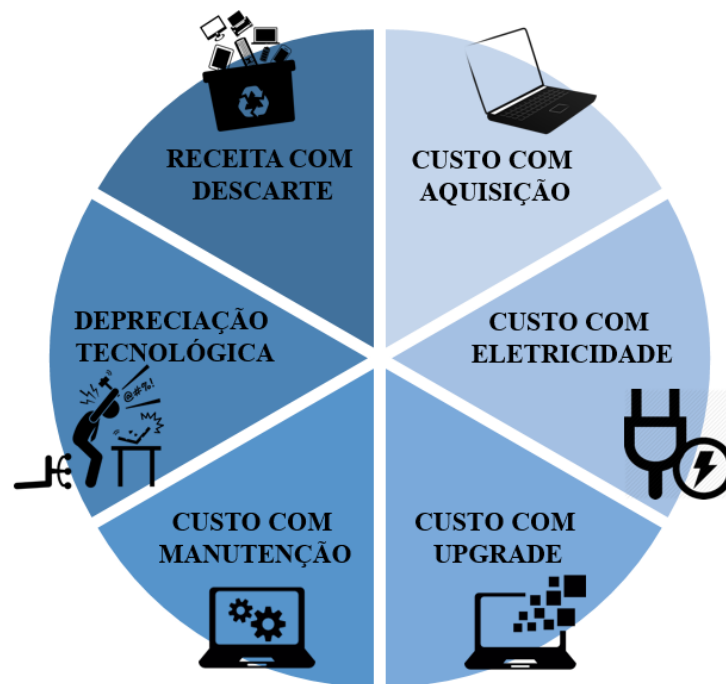
As pessoas, em sua grande maioria não possuem o hábito de verificar tais custos, fundamentando sua decisão de compra ou descarte ao seu livre-arbítrio. Quando se trata de uma indústria, onde os ativos possuem alto valor agregado não é inteligente agir da mesma maneira o que nos leva a uma necessidade de acompanhar-se o seu ciclo de vida econômico.

O conceito da análise do custo do ciclo de vida pode ser tratado como um método de cálculo da totalidade dos custos inerentes à fruição de um produto ou à exploração de um projeto, durante toda a vida desse produto ou projeto (MOREIRA, 2016).

Outra definição do LCCA é dita como o custo total de um equipamento, componente ou peça ao longo de sua vida, incluindo despesas de aquisição, montagem, testes, operação, manutenção, melhorias, modificações, remoção e alienação (BARRINGER, 2019)

Esta técnica se dispõe a analisar todos os fatores econômicos reunidos em uma averiguação em um ponto no tempo (MARQUES, 2009). A Figura 2 apresenta a ideia do ciclo de vida de um computador, como exemplo.

Figura 2 - Análise do Custo do Ciclo de Vida para um PC.



Fonte: Autor, 2020.

2.3. Life-Cycle Cost Analysis (LCCA)

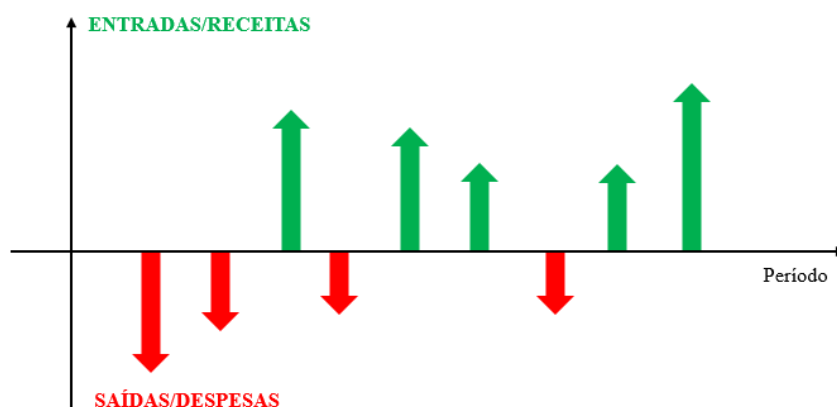
Há diversos indicadores existentes na literatura que podem ser utilizados em um estudo de LCCA. Porém, o importante é definir a taxa de desconto. O maior problema é determinar qual a taxa de desconto usar na aplicação do LCCA, pois depende da indústria, do setor e tamanho da entidade (BARRINGER, 2019).

Na grande maioria dos casos a taxa de desconto é determinada de forma arbitrária, muitas vezes se balizando à correção inflacionária do período (ASSIS, 2009). Em outros casos considera-se um valor mínimo, somado a inflação.

Muitas empresas estabelecem a taxa de desconto como um valor estratégico para grandes investimentos, ou seja, um capital de investimentos, mas podem surgir algumas contingências por parte da empresa na divulgação deste valor. Aliás, a taxa de desconto é também a taxa de retorno de um capital de investimentos quando se trata de investimento nas próprias operações da empresa. Diante de tantas variáveis, uma alternativa é recorrer a uma taxa de desconto mínima como menor ganho que o investidor determina ao realizar um investimento (PEREIRA, 2006).

A visualização da análise econômica é favorecida quando se organiza os investimentos e gastos em um fluxo de caixa estruturado conforme é apresentado no Gráfico 1, de modo que nos apresente como os índices financeiros escolhidos irão se comportar ao longo do tempo (KORPI, 2008).

Gráfico 1 - Exemplo de fluxo de caixa.



Fonte: Autor, 2020.

Há outra forma de visualização dos custos e benefícios do fluxo de caixa, conforme Gráfico 2. Em um eixo cartesiano estão apresentadas duas curvas, uma com os custos totais acumulados corrigidos com a taxa de desconto e a outra com a influência deles no período.

Gráfico 2 - Custo do ciclo de vida.



Fonte: HASTINGS, 2015.

A interseção entre as curvas será o momento de troca econômica fornecida pelo custo do ciclo de vida LCC. O gráfico de Hastings ilustra os estágios do ciclo de vida do

equipamento de maneira esquematizada dos custos acumulados e as oportunidades de influência nestes custos.

Considerando o cálculo para a análise do custo de ciclo de vida (C_{LCC}) há importantes parâmetros para sua análise econômica, que compreendem o investimento inicial, incluindo a aquisição do equipamento, instalação e comissionamento, teste e proteção, e equipamentos de controle (I), o custo da eletricidade durante o seu ciclo de vida (E). Para complementar a análise do custo do ciclo de vida, considera-se ainda os custos residuais (C_{Res}), os custos de trocas das partes de equipamentos durante seu ciclo de vida (C_{Repl}) e os custos de operação e manutenção ($C_{O\&M}$), que pode ser vista na Equação (6) (AGUIAR, 2018).

$$(C_{LCC}) = I + E + (C_{Repl}) + (C_{O\&M}) - (C_{Res}) \quad (6)$$

2.4. Análise do Custo do Ciclo de Vida na Troca de Motores de Indução Trifásicos.

Quando levou-se em consideração a análise do custo do ciclo de vida para motores (C_{LCC}) para uma troca de motores de indução trifásicos (MIT), a Equação (1) vista no tópico 2.3. culmina em algo muito mais simplificado, como pode ser observado na Equação (7).

$$(C_{LCC}) = I + E \quad (7)$$

Isso ocorre devido à semelhança tecnológica entre os equipamentos, fazendo dessa forma com que os demais parâmetros utilizados não tenham uma influência relevante para mensuração nesse tipo de análise.

Quando se realiza a compra de um MIT o investimento aplicado é feito completamente antes da entrada em operação, porém o custo de eletricidade propõe uma mensuração precisa. Esse custo de energia elétrica (E) é uma função de vários parâmetros, conforme a Equação (8):

$$E = \frac{(P_n LT(t)H)}{\eta(L)} \quad (8)$$

P_n : potência nominal em KW;

L : carregamento em p.u;

$T(t)$: tarifa em R\$/KWh variando com t ;

H : horas de operação anual em horas/ano;

$\eta(L)$: rendimento.

O crescimento na tarifa de energia elétrica com o tempo é fundamentado em um valor médio baseado em uma série histórica que apresente tal tendência (ANDRADE, 2017). Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) este valor médio é denominado taxa de escada de energia ($\hat{e}$), e fundamenta-se na média anual das diferenças entre o aumento da tarifa da energia elétrica como também da inflação para cada ano.

2.4.1. Métodos de Medição de Rentabilidade

Na troca de um MIT, levando-se em consideração o seu ciclo de vida, a rentabilidade do investimento é calculada por meio do valor atual líquido (VPL) (FULLER, 1996). Já o valor atual (VP) de um fluxo de caixa é baseado em função da taxa de desconto (d) e da taxa de escalada da energia ($\hat{e}$), como é apresentado na equação (9) (AGUIAR, 2018).

$$VP = \sum_{t=0}^m C_t \cdot \left(\frac{1+\hat{e}}{1+d} \right)^t \quad (9)$$

Onde, C_t são custos do fluxo de caixa durante o ciclo de vida do equipamento em “ m ” anos (ANDRADE, 2017).

É importante salientar que as taxas de descontos características no setor empresarial, variam na faixa de 10% a 12%, já a taxa de desconto governamental é embasada na sua própria taxa de juros menos a inflação objetivando mensurar a rentabilidade em programas de eficiência energética, neste caso, em motores elétricos (ANDRADE, 2017).

2.4.2. Método da Economia Líquida

O método de economia líquida é apropriado para calcular-se a rentabilidade da troca de motores, pois compara o VPL durante o ciclo de vida das opções de investimento (FULLER, 1996). Este método compara o custo da continuidade na opção atual (baixo rendimento) com o custo do ciclo de vida da melhor opção (maior rendimento), dessa forma, desconsiderando custos similares como custo de operação e manutenção, custos residuais e custos de trocas de partes dos equipamentos (ANDRADE, 2017). Desse modo, a técnica é fundamentada na análise entre o aumento de investimentos (ΔI), e a energia elétrica economizada para a mesma opção (ΔE).

As funções para cálculo de (ΔI) e (ΔE), são apresentadas pelas equações (10) e (11), respectivamente.

$$\Delta I = I_{ar} - I_{br} \quad (10)$$

I_{br} : investimento para manter a opção de baixo rendimento;

I_{ar} : investimento para a opção de maior rendimento.

$$\Delta E = E_{br} - E_{ar} \quad (11)$$

E_{br} : custo de energia elétrica consumida pela opção de baixo rendimento;

E_{ar} : custo de energia elétrica consumida pela opção de maior rendimento.

Após a análise dos parâmetros ΔI e ΔE , a economia líquida (NS) em um ciclo de vida de “ m ” é dada conforme a Equação (12) (AGUIAR, 2018).

$$NS = \sum_{t=1}^m \Delta E \cdot \left(\frac{1 + \hat{e}}{1 + d} \right)^t - \sum_{t=0}^{m'} \frac{\Delta I}{(1 + d)^t} \quad (12)$$

Onde, m' é o tempo em que o investimento pode ser financiado, porém, no caso do estudo em pauta apenas um motor elétrico é comprado, sendo assim, todo o investimento é realizado no tempo presente fazendo dessa forma com que ($m' = 0$) (ANDRADE, 2017).

Após os cálculos da economia líquida é possível dizer se o investimento é viável ou não a partir das considerações: se $NS > 0$, há viabilidade econômica para a realização da troca de motores, se $NS < 0$ não haverá viabilidade para tal feito, e por fim se $NS = 0$ culmina na situação de neutralidade na troca de motores, conhecido como limite de viabilidade.

3. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Nesta seção serão abordados todos os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento desse trabalho.

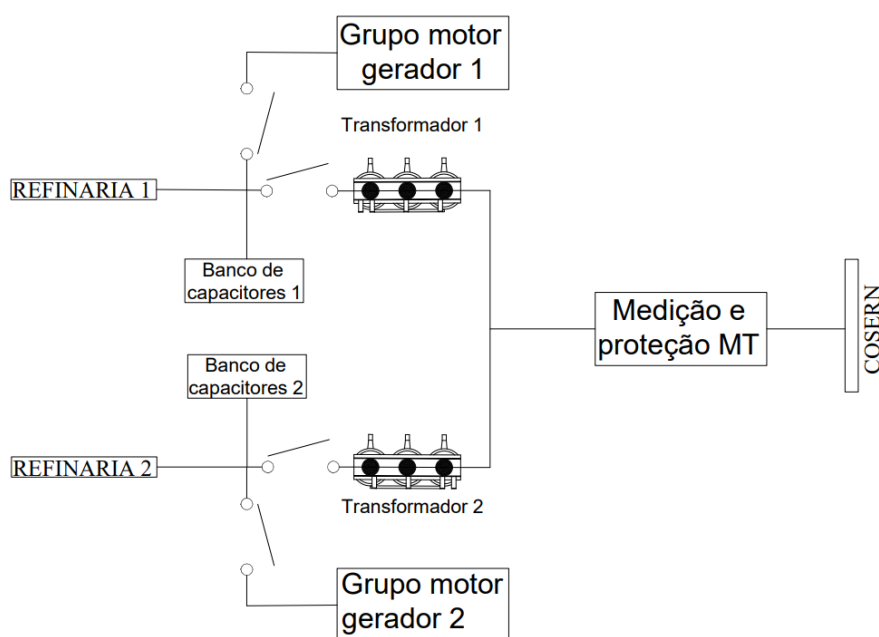
3.1. Informações sobre a Indústria Salineira e Quantitativo de Motores.

O local utilizado para estudo foi uma indústria salineira localizada na cidade de Mossoró-RN, Brasil. A indústria detém de 62 motores trifásicos, estes com potências variando de 3 a 50 cv.

Os motores presentes na indústria possuem aproximadamente mais de 10 anos em funcionamento e com programa de manutenção corretiva e preventiva. Dessa forma, viu-se a necessidade de uma troca dos atuais motores por outros que se apresentassem mais eficientes.

A refinaria da salineira conta com o esquema elétrica apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Esboço de esquema elétrico da planta da refinaria.



Fonte: Marcos, 2019.

A quantidade de motores presentes em toda refinaria foi contabilizada e está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - 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

Fonte: Autor, 2020.

Os motores de maior potência impactam no maior processamento de energia elétrica por equipamento individual. Portanto, pelo critério de maior potência para a realização do estudo escolheu-se os seis motores de maior potência presentes na refinaria, sendo estes, os pares de: 30 cv, 40 cv e 50 cv.

3.2. Análise Econômica

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da análise econômica foi a *Life-Cycle Cost Analysis* ou Análise do Custo do Ciclo de Vida, como já citada anteriormente.

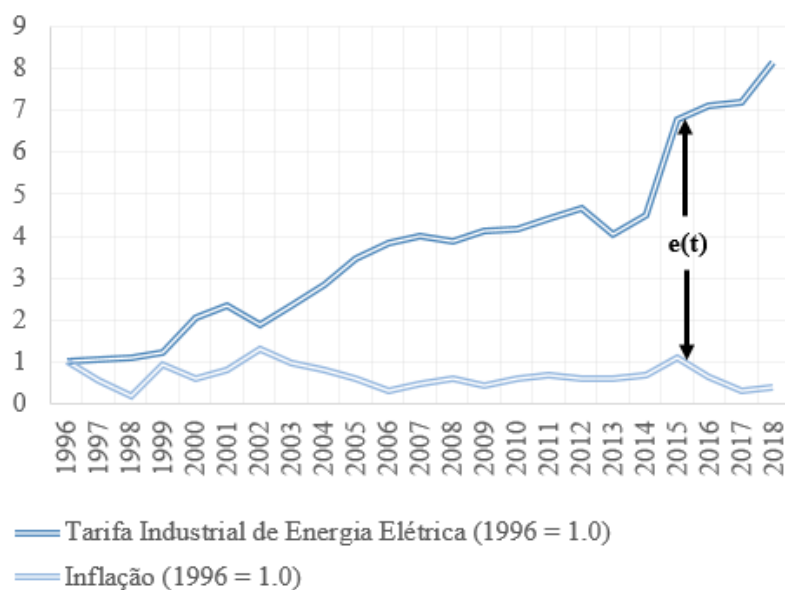
Para a realização da análise por meio dessa metodologia se faz de grande importância à utilização de alguns dados de entrada, estes serão abordados nos tópicos a seguir.

3.2.1. Taxa de escalada de energia e taxa de desconto.

Para a taxa de desconto foi utilizado um valor de 12% que é definido como um valor característico do setor empresarial.

Já para cálculo da taxa de escalada, fez-se a somatória da diferença entre os dados normalizados de tarifa e inflação anuais dos anos de 1996 a 2018, obtendo-se assim um valor de 3,08%. O Gráfico 3 apresenta o valor da tarifa e da inflação, em valores normalizados, de 1996 a 2018, para o setor industrial brasileiro (ANDRADE, 2017).

Gráfico 3 - Evolução da tarifa de energia elétrica industrial média e da taxa de inflação no Brasil de 1996 a 2018.



Autor, 2020.

3.2.2. Preço dos motores

A partir de 31 de agosto de 2019, a Portaria Interministerial N° 01, determinou que no Brasil fosse proibida a fabricação e importação de motores elétricos com rendimento inferior aos de categoria IR3 (*Premium*) (BRASIL, 2017). Com base nessa informação, todos os motores utilizados para troca estão agrupados na categoria IR3 e seus preços foram coletados no sítio eletrônico de uma fabricante de motores (WEG 2019). A Tabela 2 apresenta os preços dos motores.

Tabela 2 - Preço dos MIT IR3 utilizados como opção de troca.

Potência Nominal (cv)	Preço (R\$)
20	7.063,59
25	7.960,80
30	11.066,59
40	13.976,22
50	15.466,04

Fonte: Autor, 2020.

Para os preços dos motores em operação e os que foram utilizados como opção de troca que se enquadravam na categoria de rendimento IR2, foi considerada a lista de

preços médios de motores do mercado brasileiro (ANDRADE, 2017). Tais preços para os motores IR2 foram convertidos para a moeda nacional (R\$) a partir da cotação média do mês de setembro de 2016 (3,22 R\$/US\$) e atualizado pela inflação até Outubro de 2019. A Tabela 3 apresentam os valores obtidos e utilizados para cálculo da análise econômica.

Tabela 3 - Preço dos MIT IR2.

Potência Nominal (cv)	Preço (R\$)
20	5.020,36
25	5.836,10
30	8.305,78
40	11.102,93
50	12.309,41

Fonte: Autor, 2020.

3.2.3. Tarifa média de eletricidade e horas de operação

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, considerando a sensibilidade da tarifa aplicada a estudos realizados no Brasil (ANDRADE, 2017).

3.2.4. Carregamento e rendimento dos MIT.

Com base no estudo técnico já realizado anteriormente, foram obtidos resultados de carregamentos e rendimentos médios, a partir de dados coletados no sítio eletrônico da fabricante de motores (WEG 2019), onde foram disponibilizadas as curvas: “Corrente x Carregamento” e “Rendimento x Carregamento”. Os dados utilizados para a realização da consulta o site foram W22, IR2 e IR3, Potências de 20 cv a 50 cv, 4 pólos, 60Hz, 380 V. Esse procedimento foi realizado para todos os motores necessários na análise.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados médios mensurados dos carregamentos e rendimentos. Os resultados foram obtidos por meio de medições e análises de curvas obtidas (MARCOS, 2019).

Tabela 4 - Carregamento e rendimento médios dos motores.

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

Fonte: MARCOS, 2019.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos como consequência da metodologia aplicada.

Analisando os dados apresentados na Tabela 4 exposta no capítulo 3, os motores que apresentavam carregamento baixos e, notoriamente, necessitaria de uma análise foram os MIT 1, 3, 5 e 6, pois estes apresentaram um carregamento abaixo de 80%.

A análise irá compreender, a princípio, uma troca dos motores em operação por outros motores que estão enquadrados na categoria de mesmo rendimento, IR2. Na sequência será feita uma análise da troca utilizando apenas motores de alto rendimento IR3 como opção de troca e, por fim, será realizado um comparativo entre as melhores opções de troca entre os MIT IR2 e IR3.

Ao aplicar-se o método da economia líquida pode ser obtido o verdadeiro impacto financeiro da troca de motores e ainda pode ser visualizada a classificação da viabilidade econômica de cada motor para a troca. O tempo médio de vida útil dos motores de 10 a 40 cv são de 20 anos e para os de 50 cv, 25 anos (ANDRADE, 2017). Para esta análise o tempo de vida útil de motores com potência de 50 cv foi de 20 anos, exceto quando a troca realizada é entre motores de 50 cv, neste último caso fez-se uso da vida útil de 25 anos. 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.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados do custo de consumo de energia elétrica por ano e o da economia líquida para a troca do MIT 1, utilizando motores IR2 e IR3, respectivamente.

Tabela 5 - Opções de MIT IR2 para troca do MIT 1 de 50 cv.

MIT 1 – 50 cv – 4 pólos – IR2					
Opções (IR2)	Potência (cv)	L (%)	C_E (R\$/ano)	C_I (R\$)	NS (R\$)
1.0	50	42,4	46.184,73	12.309,41	0,00
1.1	40	53,1	40.634,48	11.102,93	2.471,25
1.2	30	70,7	40.446,41	8.305,78	6.738,86
1.3	25	84,9	40.453,71	5.836,10	9.085,79

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 6 - Opções de MIT IR3 para troca do MIT 1 de 50 cv.

MIT 1 – 50 cv – 4 pólos – IR2					
Opções (IR3)	Potência (cv)	L (%)	C_E (R\$/ano)	C_I (R\$)	NS (R\$)
1.0	50	42,4	45.482,27	15.466,04	1.488,86
1.1	40	53,1	40.000,95	13.976,22	3.951,32
1.2	30	70,7	40.024,10	11.066,59	6.894,49
1.3	25	84,9	39.906,88	7.960,80	10.708,77

Fonte: Autor, 2020.

Analisando a Tabela 5, pode-se verificar que a divergência entre a melhor opção do ponto de vista energético e do ponto de vista econômico, porém analisando o impacto que a melhor opção econômica pode gerar em relação a melhor opção energética, se torna mais atraente optar pelo motor de 25 cv, IR2 que irá gerar uma economia líquida durante sua vida útil de 156% do valor de investimento no novo motor. Vale destacar que a troca

por um motor similar não é atraente do ponto de vista energético e economicamente está no limite de viabilidade.

Já ao observar a Tabela 6, pode-se verificar que do ponto de vista energético e econômico a melhor opção de troca seria o motor IR3 de 25 cv, este apresentando um menor custo do consumo de energia elétrica e uma maior economia líquida em relação aos demais motores estudados como opção de troca. Esta opção gera uma economia líquida durante a vida útil do motor igual a 135% do valor do novo motor.

As Tabelas 7 e 8 abordarão os resultados do custo de consumo de energia elétrica por ano e o da economia líquida para a troca do MIT 3, utilizando motores IR2 e IR3, respectivamente.

Tabela 7 - Opções de MIT IR2 para troca do MIT 3 de 40 cv.

MIT 3 – 40 cv – 4 pólos – IR2					
Opções (IR2)	Potência (cv)	L (%)	C_E (R\$/ano)	C_I (R\$)	NS (R\$)
3.0	40	68,6	52.129,10	11.102,93	0,00
3.1	50	54,9	52.127,50	12.309,41	-1.466,08
3.2	30	91,5	52.138,04	8.305,78	3.664,47

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 8 - Opções de MIT IR3 para troca do MIT 3 de 40 cv.

MIT 3 – 40 cv – 4 pólos – IR2					
Opções (IR3)	Potência (cv)	L (%)	C_E (R\$/ano)	C_I (R\$)	NS (R\$)
3.0	40	68,6	51.380,57	13.976,22	30.220,13
3.1	50	54,9	51.354,77	15.466,04	4.128,23
3.2	30	91,5	51.653,26	11.066,59	639,43

Fonte: Autor, 2020.

Analisando a Tabela 7, verificou-se que mais uma vez, as melhores opções entre os dois pontos de vista diferem, porém olhando do ponto de vista econômico realizar a

troca pelo MIT de 50 cv se torna inviável, apresentando uma economia líquida negativa, dessa forma para o empresário é muito mais atraente recorrer ao MIT de 30 cv que irá lhe gerar uma economia líquida de 44% do valor de investimento no novo motor, avaliando que a diferença entre o custo de consumo de energia elétrica entre os MIT de 50 e 30 cv não é extremamente discrepante e não irá impactar de forma significativa como a economia líquida produzida.

Ao observar os resultados da Tabela 8, pode-se visualizar que a melhor opção de troca do ponto de vista energético não é a mesma do ponto de vista econômico, porém analisando o impacto econômico do motor similar de 40 cv, IR3, este gera uma economia líquida de 216% do valor do novo motor ao longo de toda sua vida útil, fazendo esta opção se tornar a mais atraente considerando o ponto de vista do investidor. É importante destacar que a troca de um motor de 40 cv por um de menor potência, 30 cv, gera uma economia líquida menor que o motor de 40 cv. Outro fato interessante para ressaltar é que o aumento de carregamento não gera uma economia maior.

As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados do custo de consumo de energia elétrica por ano e o da economia líquida para a troca do MIT 5, fazendo uso de motores IR2 e IR3, respectivamente.

Tabela 9 - Opções de MIT IR2 para troca do MIT 4 de 30 cv.

MIT 5 – 30 cv – 4 pólos – IR2					
Opções (IR2)	Potência (cv)	L (%)	C_E (R\$/ano)	C_I (R\$)	NS (R\$)
5.0	30	70,4	40.268,74	8.305,78	0,00
5.1	40	52,8	40.459,25	11.102,93	-4.382,83
5.2	25	84,5	40.271,38	5.836,10	2.243,68

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 10 - Opções de MIT IR3 para troca do MIT 5 de 30 cv.

MIT 5 – 30 cv – 4 pólos – IR2					
Opções (IR3)	Potência (cv)	L (%)	C_E (R\$/ano)	C_I (R\$)	NS (R\$)
5.0	30	70,4	39.847,72	11.066,59	171,41
5.1	40	52,8	39.827,78	13.976,22	-2.919,62
5.2	25	84,5	39.727,83	7.960,80	3.851,49

Fonte: Autor, 2020.

Observando a Tabela 9, viu-se que do ponto de vista energético a melhor opção seria realizar a troca por outro motor similar, porém esta opção não favorece economicamente, tendo em vista que sua viabilidade econômica se apresenta no limite. Já do ponto de vista econômico o MIT de 25 cv é a mais atraente, visto que gera uma economia líquida de 38% do investimento no novo motor. Assim como a análise da Tabela 8, a diferença entre o custo de consumo de energia elétrica entre os MIT de 25 e 30 cv são muito pequenas e, esta não gera um impacto maior que o ganho de economia líquida durante a vida útil do motor.

Agora visualizando os resultados apresentados na Tabela 10, a opção mais atraente diante dos dois pontos de vista é o motor de 25 cv, IR3, gerando uma economia líquida de 48% do investimento inicial durante a vida útil do novo motor. É importante ressaltar que a troca por um motor de maior potência não gera bons rendimentos econômicos, como se pode observar a economia líquida produzida pela opção de 30 cv é muito baixa, porém ainda é viável. Já a economia líquida gerada pelo MIT de 40 cv é negativa, o que comprova definitivamente sua inviabilidade econômica, conforme visto anteriormente no capítulo 2.

As Tabelas 11 e 12 apresentam os resultados do custo de consumo de energia elétrica por ano e o da economia líquida para a troca do MIT 6, utilizando motores IR2 e IR3, respectivamente.

Tabela 11 - Opções de MIT IR2 para troca do MIT 6 de 30 cv.

MIT 6 – 30 cv – 4 pólos – IR2					
Opções (IR2)	Potência (cv)	L (%)	C_E (R\$/ano)	C_I (R\$)	NS (R\$)
6.0	30	64,2	36.778,74	8.305,78	0,00
6.1	25	77,0	36.696,88	5.836,10	1.526,41
6.2	20	96,3	36.386,04	5.020,36	5.727,41

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 12 - Opções de MIT IR3 para troca do MIT 6 de 30 cv.

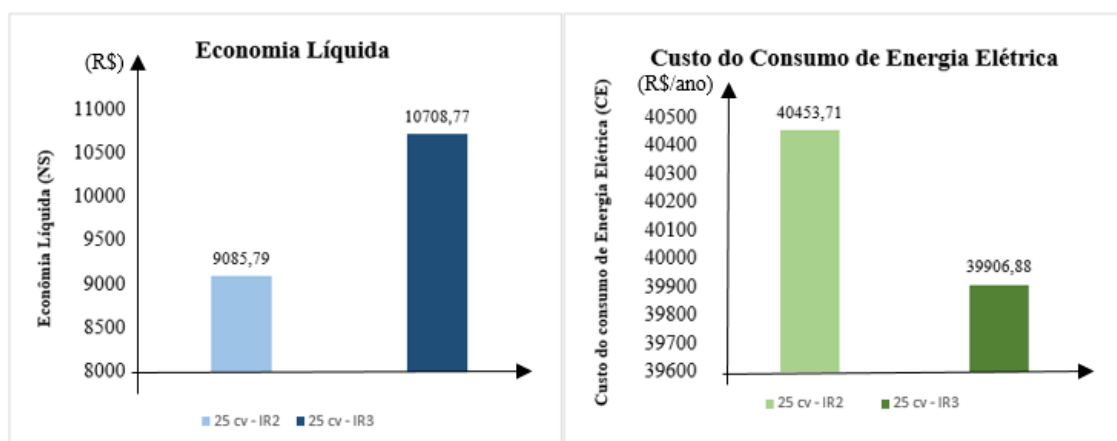
MIT 6 – 30 cv – 4 pólos – IR2 – R\$ 8.305,78 – R\$/ano 36.778,74					
Opções (IR3)	Potência (cv)	L (%)	C_E (R\$/ano)	C_I (R\$)	NS (R\$)
6.0	30	64,2	36.009,12	11.066,59	- 67,87
6.1	25	77,0	36.218,30	7.960,80	2.653,08
6.2	20	96,3	36.009,12	7.063,59	6.682,92

Fonte: Autor, 2020.

Ao analisou-se as Tabelas 12 e 13 é possível observar que do ponto de vista energético e econômico as melhores opções para troca coincidem, sendo estas os MIT de 20 cv, nas categorias IR2 e IR3, gerando uma economia líquida durante a vida útil do novo motor de 114% e 95%, respectivamente, do investimento inicial na compra deste motor. Vale destacar que a Tabela 13 mostra que aplicar uma troca por um motor similar de 30 cv, IR3, demonstra-se inviável ao apresentar uma economia líquida negativa.

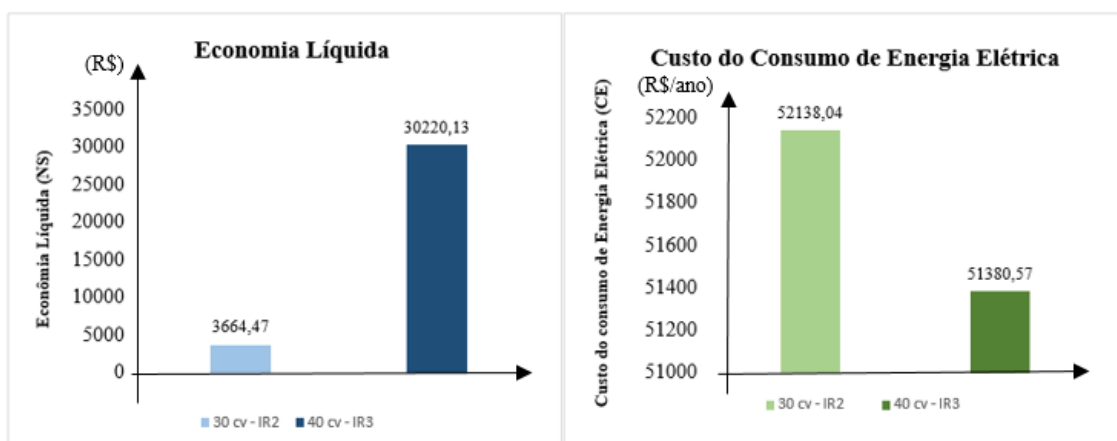
Os Gráficos 4, 5, 6 e 7 apresentam um comparativo entre as melhores opções para troca dos MIT 1, 3, 5 e 6, entre os motores de categoria IR2 e IR3, respectivamente.

Gráfico 4 - Opções IR2 e IR3 para troca do MIT 1 (50 cv).



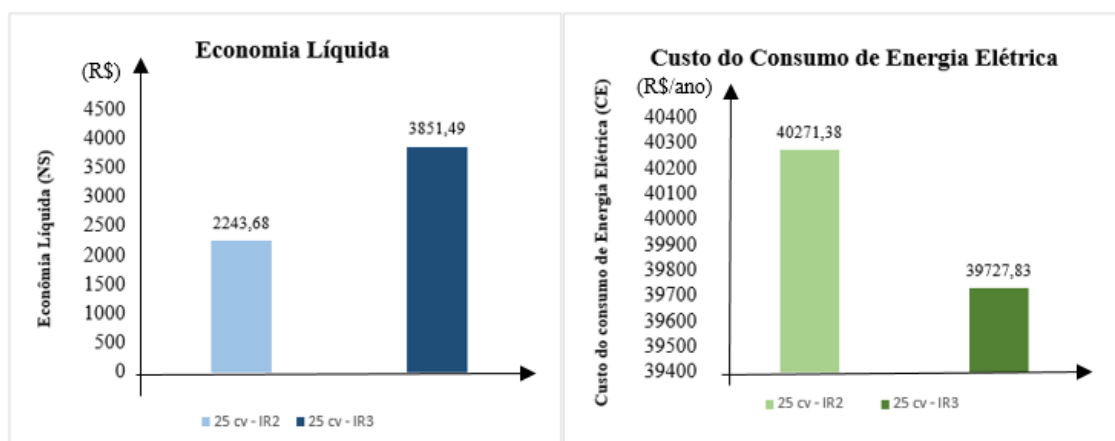
Fonte: Autor, 2020.

Gráfico 5 - Opções IR2 e IR3 para troca do MIT 3 (40 cv).



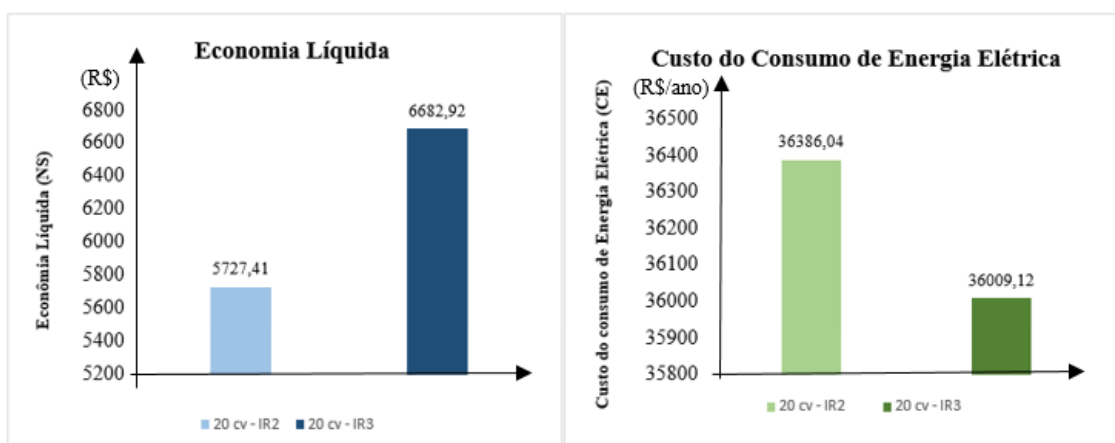
Fonte: Autor, 2020.

Gráfico 6 - Opções IR2 e IR3 para troca do MIT 5 (30 cv).



Fonte: Autor, 2020.

Gráfico 7 - Opções IR2 e IR3 para troca do MIT 6 (30 cv).



Fonte: Autor, 2020.

Analisando os resultados apresentados nos Gráficos 4, 5, 6 e 7 é comprovado que os motores de alto rendimento (IR3) são as melhores opções para investimento na troca, eles apresentam um custo de consumo de energia elétrica menor que os motores IR2, e ainda proporcionam uma economia líquida muito maior, como é o caso do MIT 3, apresentado no Gráfico 5, em que a economia líquida gerada é aproximadamente 10 vezes maior que a produzida pelo motor de rendimento inferior.

Dessa forma pode-se concluir que para o investidor, tanto em desempenho energético, como do ponto de vista econômico, as melhores opções para troca desses motores em

operação seriam os motores IR3, como é nitidamente explícito nos dados tabelados anteriormente e nos gráficos comparativos apresentados.

5. CONCLUSÃO

Foi apresentada uma análise econômica da troca de motores em operação, com o intuito de complementar e dar continuidade à análise técnica, contabilizando o impacto dos novos consumos de energia elétrica, objetivando mostrar resultados que confirmassem a viabilidade econômica das opções propostas para troca e com maior rentabilidade.

Foi possível observa-se que nem sempre a melhor opção do ponto de vista energético é a mesma considerando a economia líquida durante toda vida útil do motor. Uma conclusão importante é que não é definitiva qual troca gera a maior rentabilidade. Conforme Tabela 9, o MIT 3, sendo trocado por um motor de mesma potência nominal, mas do tipo IR3, gerou a maior rentabilidade entre as trocas apresentadas. Outra conclusão importante, é que os motores de alto rendimento são muito mais viáveis considerando os dois pontos de vista, desempenho energético e econômico, que motores de classe de rendimento inferior.

Além disso, foi comprovado que a troca por motores de maior potência, realizando um maior subdimensionamento pode até gerar bons resultados do ponto de vista do desempenho energético, porém podem vir a se tornarem inviáveis economicamente.

A análise econômica utilizada, utiliza ferramentas básicas da matemática financeira aliada a indexadores conhecidos e largamente utilizados em investimentos.

Por fim, a metodologia LCCA, proposta foi aplicada com êxito, atendendo aos objetivos gerais da pesquisa. Ela apresentou resultados finais que aprofundam a análise por trás de uma troca de motores do ponto de vista econômico, podendo ressaltar que nem sempre o aumento de carregamento e potência nominal do motor significa a melhor opção na decisão final para a realização dessa troca. Importante destacar também que a introdução da variável “classes de rendimento” interfere no poder de decisão do investidor, visto que o carregamento influencia na viabilidade da troca.

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 observando a correta operação dos motores, com um mínimo de restrições.

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.
- 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.
- ASSIS, R.; JULIÃO, J. Gestão da manutenção ou gestão de activos: Custos ao longo do ciclo de vida; 2009.
- BARRINGER, H. P. et al. Life-cycle cost tutorials. 1995. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary%3Fdoi%3D10.1.1.546.7966>. Acesso em: 25 de novembro de 2019.
- BRASIL (2017). Portaria Interministerial nº 1 de 29 de Junho de 2017, Ministério de Minas e Energia, Brasília.
- FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS EXATAS. Motor Trifásico de Indução Ensaio: Curvas de Corrente e conjugado características de Desempenho Inversor de Frequência. São Judas Tadeu; 2016.
- 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.
- HASTINGS, N. A. J. Life Cycle Costing. Springer International Publishing, 2015. 149 – 158 p. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-14777-2_8. Acesso em: 28 de dezembro de 2019.
- 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.
- JÚNIOR, M.A.L.M. e Aguiar, V.P.B. Análise energética da troca de motores de indução trifásicos analisando o carregamento *in loco*. 2019; 8 p.
- KORPI, E.; ALA-RISKU, T. Life cycle costing: a review of published case studies. *Managerial Auditing Journal*, v. 23, n. 3, p. 240 – 261, 2008. ISSN 0268-6902. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02686900810857703%255Cnhttp://full/html>. Acesso em: 02 de Janeiro de 2020.
- MARQUES, S. G. Manutenção Industrial e Custo do Ciclo de Vida: Extração Oleaginosas. 2009. Tese (Doutorado) — Universidade Nova Lisboa - PO.
- MOREIRA NETO, T. C. Análise do Custo de Ciclo de Vida de uma Correia Transportadora com Uso de Análise RAM em uma indústria de mineração para suportar a estratégia de manutenção. 2016.
- PEREIRA, A. J. C. A Nálise do Custo do Ciclo De Vida da Eta Queimadela. 2009. Tese (Doutorado) — Universidade do Proto - PO. PILAO, N. E.; HUMMEL, P. R. Matemática Financeira e Engenharia Econômica. São Paulo: Editora Pioneira Thomson, 2006.

PILAO, N. E.; HUMMEL, P. R. Matemática Financeira e Engenharia Econômica. São Paulo: Editora Pioneira Thomson, 2006.

WEG. Catálogo motores W22 baixa tensão (2019). Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/MotoresEl%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico--Baixa-Tens%C3%A3o/UsosGerais/W22/c/BR_MT_3PHASE_LV_W22?h=7c3e5324>. Acesso em: 28 de dezembro de 2019.