



Universidade Federal de Campina Grande
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

GLEUBER SOARES SOUSA

AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE
MOTORES DE BAIXO RENDIMENTO POR MOTORES DE
ALTO RENDIMENTO

CAMPINA GRANDE

2021

GLEUBER SOARES SOUSA

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES DE
BAIXO RENDIMENTO POR MOTORES DE ALTO RENDIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.

PROFESSOR RONIMACK TRAJANO DE SOUZA
ORIENTADOR

CAMPINA GRANDE

2021

GLEUBER SOARES SOUSA

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE
MOTORES DE BAIXO RENDIMENTO POR MOTORES DE
ALTO RENDIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica..

Aprovado em: ____/____/_____.

Professor Avaliador
UFCG
Avaliador

Ronimack Trajano de Souza
UFCG
Orientador

CAMPINA GRANDE

2021

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado força e determinação em toda a minha jornada, e ter conseguido realizar essa grande conquista.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida, especialmente a minha mãe Maria Givalda Soares Silva e meus irmãos.

À Universidade Federal de Campina Grande, ao seu corpo docente e à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica, em especial Adail e Tchai, que propiciaram meu desenvolvimento pessoal e profissional, sendo sempre prestativos.

À Empresa Júnior Voltech e todos que tive a oportunidade de conhecer, por me proporcionarem grandes experiências e serem responsáveis por grandes conquistas.

A meu orientador, o professor Ronimack Trajano de Souza, por me proporcionar grandes oportunidades de aprendizado, pela paciência, auxílio na elaboração, desafios e incentivos realizados durante o desenvolvimento deste trabalho.

As minhas grandes amigas que a universidade proporcionou Cinthya, Melyna, Ramayana e Sabryna que me acompanharam em toda essa jornada, estando comigo nos altos e baixos. A Meus amigo Josué Júnior que foi fundamental nesse final de curso.

Aos meus meus amigos Gabriel e Viviane que por longo tempo dividimos o mesmo espaço e compartilhamos grandes momentos.

Aos colegas de classe pela espontaneidade e alegria na troca de informações e materiais numa rara demonstração de amizade e solidariedade. E, por último, quero agradecer todas as pessoas que ao longo desta etapa me apoiaram e de alguma forma, foram essenciais para que eu alcançasse este objetivo com o qual sempre sonhei.

Dedico este trabalho à minha mãe, exemplo de superação, coragem, honestidade e perseverança.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo da viabilidade econômica para a substituição de motores elétricos de baixo rendimento por de alto rendimento da indústria T.G.F. Dispositivos para Metalização de Faróis e Lanternas. O método utilizado para a análise foi através de pesquisas bibliográficas de projetos de eficiência energética voltada para motores elétricos, estudo das legislações vigentes relacionado ao tema e simulação em sistemas reais, modelados a partir do levantamento das características elétricas das máquinas. O estudo tem finalidade de mostrar outras alternativas viáveis para a redução do consumo de energia elétrica nas indústrias, bem como conhecer os programas de incentivo a troca de motores elétricos antigos.

Palavras-chave: motores elétricos, viabilidade, eficiência elétrica, substituição.

ABSTRACT

This report presents the study of the economic feasibility for replacing low-performance electric motors with high-performance in T.G.F. Dispositivos para Metalização de Faróis e Lanternas industry. The method used for analysis was through bibliographic research on energy efficiency projects aimed at electric motors, study of the legislation in force on the topic and simulation in real systems, model based on the survey of ethical characteristics dasm aquinas. The study has to show other viable alternatives for the reduction of electric energy consumption in the industries, as well as to know the programs of incentive to change old engines.

Keywords: electric motors, viability, electrical efficiency, replacement

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Gráfico de pizza com o percentual consumo de cada setor do sistema elétrico brasileiro do ano 2020.	15
Figura 2	Gráfico com os percentuais das principais fontes de consumo do setor industrial.	16
Figura 3	Processo de conversão de energia elétrica no motor.	21
Figura 4	Horários de consumo e faixa de preços das tarifas do sistema elétrico brasileiro.	23
Figura 5	Curva de carga do motor elétrico trifásico de indução.	25
Figura 6	Triângulo retângulo de potência.	27
Figura 7	Gráfico da comparação das correntes nos tipos de acionamentos.	28
Figura 8	Tipos de manutenção mais conhecidos para sistemas elétricos.	29
Figura 9	Fluxograma das fontes externas de falha do motor elétrico.	30
Figura 10	Fluxograma das fontes internas de falha do motor elétrico.	30
Figura 11	Custos de um motor em 10 anos.	31
Figura 12	Comparação da economia durante a vida útil dos motores.	41
Figura 13	Comparação da economia durante a vida útil dos motores.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação entre os índices de rendimentos dos motores, a categoria do motor e o prazo de validade para fabricação e comercialização em território nacional.	18
Tabela 2	Tabela com as distribuidoras que tiveram suas propostas aprovadas para participar do Projeto de Eficiência Prioritário nº 002/2015.....	33
Tabela 3	Tabela com o levantamento das características dos motores de baixo rendimento.....	39
Tabela 4	Características dos motores de Alto rendimento.	39
Tabela 5	Comparação da economia anual entre os motores elétricos IR3 e IR4.	41
Tabela 6	Tabela com os custos de operação e custos de manutenção de cada motor elétrico.	46

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
BEU	Balanco de Energia Útil
cv	Cavalo Vapor
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FP	Fator de Potência
HP	<i>House Power</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
TRI	Taxa de Retorno sobre Investimentos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.2	Organização	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Cenário Energético.....	15
2.2	Eficiência Energética.....	16
2.3	Níveis Mínimos de Eficiência em Motores Elétricos	18
2.3.1	Índices de Rendimento.....	18
2.3.2	Motores Elétricos	19
2.3.2.1	Tipos de Motores	19
2.3.3	Características do Motor	20
2.4	Motores de Alto Rendimento.....	21
2.4.1	Medidas de Eficiência Energética em Motores	22
2.4.2	Alteração do Horários de Funcionamento	22
2.4.3	Carregamento do Motor	23
2.4.4	Correção de Fator de Potência	26
2.4.5	Inversores de Frequência.....	27
2.4.6	Manutenção	29
2.4.7	Substituição de motores elétricos	31
2.5	Programa de eficiência energética para substituição de motores.....	32
2.5.1	Programa de eficiência energética – PEE	32
2.5.2	Plano de troca WEG	33
2.6	Método de análise.....	34
2.6.1	Fatores determinantes para a análise	34
2.6.2	Valor De Retorno	35
2.6.3	Prazo de Retorno de Investimento.....	36

3	<i>ESTUDO DE CASO</i>	38
3.1	Dados do sistema atual	38
3.2	Dados dos motores de alto rendimento	39
3.3	Consumo anual	39
3.4	Tempo de retorno de investimento.....	41
3.5	Análise do conjunto de motores	43
3.6	Manutenção	45
4	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	47

1 INTRODUÇÃO

A Eficiência Energética representa um tema de alta relevância nos tempos atuais. Com a ajuda de leis e decretos que possuem o objetivo de disciplinar a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. Neste sentido, a utilização de energia elétrica de forma eficiente faz-se necessário, já que os custos envolvidos em sua produção, na maioria das vezes são superiores aos custos de gerenciamento de energia elétrica. Os equipamentos que mais consomem no setor industrial são motores elétricos e esse consumo tende a se manter, ou ainda aumentar, no decorrer dos anos. Com isso, faz-se necessária à aquisição e utilização de motores elétricos mais modernos e mais eficientes, atualização do parque de motores elétricos utilizados no setor industrial brasileiro e tornar menos atrativa a prática de recondicionamento de motores elétricos e a utilização de motores antigos e pouco eficientes.

Os contextos expostos foram decisivos para escolha do tema da pesquisa, na qual se trata de um estudo de eficiência energética e viabilidade econômica, tendo como proposta de solução a substituição de motores, mostrando o tempo que levaria até que haja retorno do capital investido. Esse estudo leva em consideração alguns fatores como, preços da tarifa de energia elétrica vigente em diferentes horários (ponta e fora de ponta), o preço para do conjunto de motores, o tempo de funcionamento e o rendimento.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Este Trabalho de Conclusão de Curso propõe estudo de caso da viabilidade econômica na substituição de motores de baixo rendimento por motores de alto rendimento, a fim de, determinar o tempo que levaria para se obter um retorno do capital investido na aquisição desses novos motores.

1.2 Organização

O presente trabalho está organizado da seguinte forma:

Capítulo 2: os conceitos relacionados Eficiência energética e análise em motores elétricos serão abordados neste capítulo.

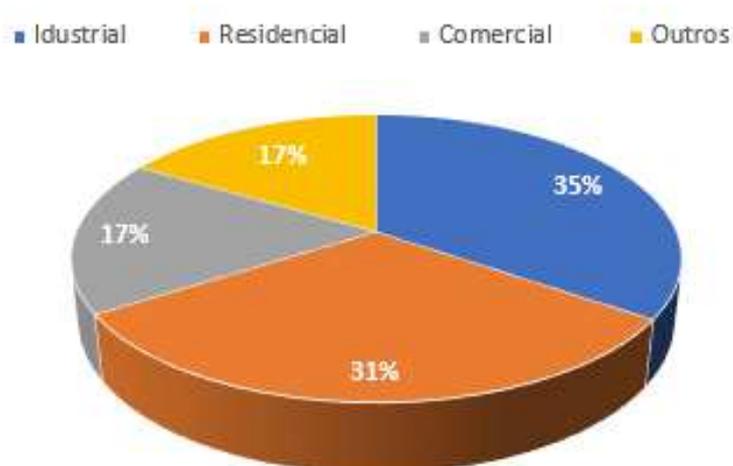
Capítulo 3: O estudo de caso do estabelecimento, as análises de dados e os testes realizados serão apresentados neste capítulo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cenário Energético

O Balanço Energético Nacional – BEN tem a finalidade de contabilizar e divulgar extensa pesquisa relativa à oferta e consumo de energia no Brasil, contemplando desde a extração de recursos energéticos primários até o uso final da energia. No gráfico abaixo, apresenta o consumo energético por setores, esses dados são referentes ao ano de 2020, logo correspondem ao intervalo de janeiro a dezembro de 2020 (EPE, 2020).

Figura 1: Gráfico de pizza com o percentual consumo de cada setor do sistema elétrico brasileiro do ano 2020.

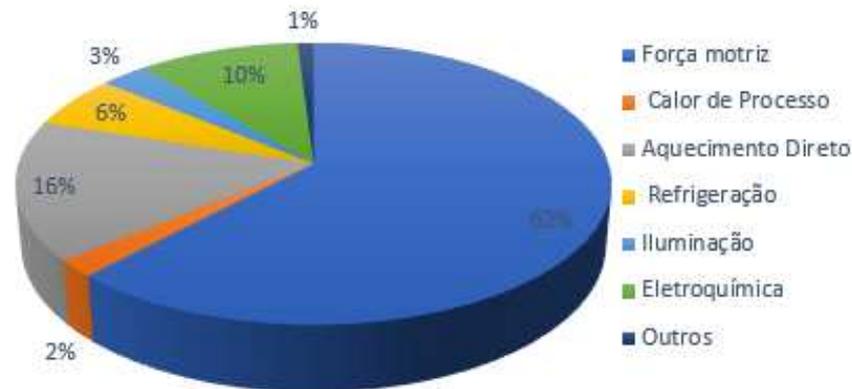


fonte: Adaptado de (BEN, 2020).

Junto com o BEN temos o Balanço de Energia Útil – BEU, que é um estudo que permite processar as informações de consumo de energia setoriais. A Energia Útil é apurada considerando os Usos Finais. A Figura 2 resume os resultados do BEU para o ano de 2004, o ultimo realizado (EPE, 2020).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME) os motores elétricos representam a maior parte do consumo de energia nas indústrias, representando cerca 62%.

Figura 2: Gráfico com os percentuais das principais fontes de consumo do setor industrial.



Fonte: Adaptado de (BEU, 2005).

2.2 Eficiência Energética

Quando se discute sobre a energia elétrica, um assunto bem recorrente é a forma de utilização dessa energia de forma eficiente. A Eficiência energética significa que no processo de transformação de energia a quantidade obtida será a mesma, porém utilizando menos recursos naturais ou obter o mesmo serviço com menos energia (EPE, 2018). Eficiência significa realizar as mesmas tarefas só que usando menos, mantendo o conforto e a qualidade. Usar menos não significa que devemos nos privar do consumo e sim contribuir para um uso mais eficiente da energia, buscando equipamentos mais eficientes, ou seja, aqueles que usam menos recursos para proporcionar a mesma quantidade de energia útil. A eficiência energética é um meio viável de desenvolvimento técnico, econômico, ambiental e social do país, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias, conscientização do uso racional dos recursos naturais e a segurança energética (MME, 2019).

O investimento em ações de eficiência energética apresenta muitas vantagens para as indústrias, garantindo a redução do consumo e de custos operacionais. Além disso, promove a competitividade industrial, beneficia consumidores e reduz impactos ambientais. Por fim, ganhos com eficiência energética garantem maior segurança no atendimento à demanda e postergam a necessidade de investimentos no sistema elétrico (MME, 2019).

Nesse contexto, a Lei nº 13.280 de 03/05/2016, alterou a Lei nº 9.991, de 24/07/2000, com o objetivo de disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência

energética, distribuindo esses recursos da seguinte forma:

- 80% aplicados pelas próprias concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica, conforme os regulamentos estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); e
- 20% destinados a suportar o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel).

A Lei n° 10.295 de 2001, também conhecida como Lei de Eficiência Energética, importante instrumento para inserção da eficiência energética no sistema elétrico brasileiro. Criada com o intuito de mudar a visão da Política Energética Nacional, a Lei estimula o desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e a introdução de produtos mais eficientes no mercado nacional. Em resumo serão citados alguns artigos que exprimem toda a dinâmica abordada.

Tendo como primeiro artigo a regulamentação da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia elétrica, cujo principal objetivo é alocar os recursos energéticos de forma estratégica e eficiente de modo que contemple a preservação do meio ambiente (Brasil, 2001).

O Poder Executivo estabelece especificações técnicas obrigatórias, que tem como base um conjunto de indicadores pertinentes para cada tipo de máquina e aparelho que devem ser adotadas por fabricantes e os importadores. Essas especificações estabelecem níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, caso não forem seguidos estarão sujeitos às multas por unidade, a serem estabelecidas em regulamento, de até 100% (cem por cento) do preço de venda por eles praticados (Brasil, 2001).

O Programa de Metas é utilizado para medir a evolução progressiva dos níveis a serem alcançados, esses indicadores levam em consideração alguns fatores que são determinantes para estabelecer esses níveis de forma economicamente viável. Essas metas ficam a cargo de alguns órgãos, como o Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica que promove ações de eficiência energética em diversos segmentos da economia (Brasil, 2001).

2.3 Níveis Mínimos de Eficiência em Motores Elétricos

Com base na lei da eficiência energética, foi criado o DECRETO Nº 4.508, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2002 que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, também estabelece os níveis mínimos de eficiência em aparelhos e máquinas de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências (ANEEL, 2002).

2.3.1 Índices de Rendimento

Com a crescente demanda de energia elétrica, fontes alternativas de energias não serão suficientes para supri-la, com isso, é necessário empregar esforços na evolução de eficiência. Todas as tecnologias têm um início, apogeu e fim e, analogamente, aos motores isto também acontece. A classificação dos motores segundo as normas Eletrotécnicas, descrita através da ABNT NBR 17094-1:2018 estabelece os níveis mínimos de rendimento exigidos para fabricação de motores elétricos trifásicos, importante medida de eficiência energética e vem sendo utilizada pelas economias desenvolvidas. Mediante os rendimentos dos motores de indução trifásicos com rotor em gaiola, atribui-se a estas cinco classificações, tomando como referência os seus níveis de rendimento (WEG, 2018). É disponibilizado na Tabela 1 os índices e sua relação com as categorias de motores fabricados pela WEG.

Tabela 1: Relação entre os índices de rendimentos dos motores, a categoria do motor e o prazo de validade para fabricação e comercialização em território nacional.

Categoria	Símbolo	Validade
Ultra Premium	IR5	-
Super Premium	IR4	-
Premium	IR3	Vigente
Alto Rendimento	IR2	Até 2019
Standard	IR1	Até 2009

Fonte: Adaptado de WEG.

2.3.2 Motores Elétricos

O motor elétrico é uma máquina rotativa destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica. Na prática, quase todos os motores fazem a conversão da energia pela ação de um campo magnético, essa conversão eletromagnética de energia ocorre devido à variação de fluxo concatenado(λ) decorrentes do movimento mecânico de acordo com a equação 1 (Chapman, 1998; Fitzgerald, 2006).

$$e = \frac{d\lambda}{dt} \quad (2.1)$$

onde:

e = tensão induzida na bobina.

λ = fluxo concatenado.

t é tempo que o fluxo será variado.

Nas máquinas rotativas, as tensões são geradas nos enrolamentos ou grupos de bobinas quando esses giram mecanicamente dentro de um campo magnético, ou quando um campo magnético gira mecanicamente próximo aos enrolamentos, ou ainda, quando o circuito magnético é projetado de modo que a relutância varie com a rotação do rotor. Por meio desses métodos, o fluxo em uma bobina específica é alterado ciclicamente e, com isso, uma tensão variável no tempo é gerada. (Fitzgerald, 2006).

2.3.2.1 Tipos de Motores

Na atualidade, o motor elétrico está presente nos setores residências, industriais e rurais. Os motores elétricos podem ser classificados das mais diversas formas como, tensão de excitação (CA e CC), aspectos construtivos, número de polos. Os mais comuns são:

- Motor de corrente contínua (CC) - motores que convertem a energia elétrica CC em energia mecânica. A maioria dos motores CC é como as máquinas CA no sentido de que elas contêm tensões e correntes CA em seu interior – os motores CC têm uma saída CC somente porque existe um mecanismo que converte as tensões CA internas em tensões CC em seus terminais. Como esse mecanismo é denominado comutador, os motores CC são também conhecidos como máquinas de comutação.

- Motor de corrente alternada (CA) - são motores que convertem energia elétrica CA em energia mecânica. Os princípios fundamentais dos motores CA são muito simples, mas infelizmente eles são obscurecidos pela construção complicada das máquinas reais. Há duas classes principais de motores CA - motores síncronos e motores de indução.

2.3.3 Características do Motor

Potência Elétrica

A potência é a taxa de produção de trabalho, ou o incremento de trabalho por unidade de tempo. A equação da potência é:

$$P = \frac{d\omega}{dt} \quad (2.2)$$

Onde:

P é a potência elétrica.

ω é o trabalho realizado.

Usualmente, sua unidade de medida é o joule por segundo (watt), mas também pode ser o pé-libra por segundo, ou ainda o HP (*horsepower*).

Rendimento

Além das características elétricas (tensão e corrente) e dinâmica (conjugado e velocidade), o desempenho de um motor pode ser medido pelo seu rendimento (η):

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \quad (2.3)$$

ou ainda,

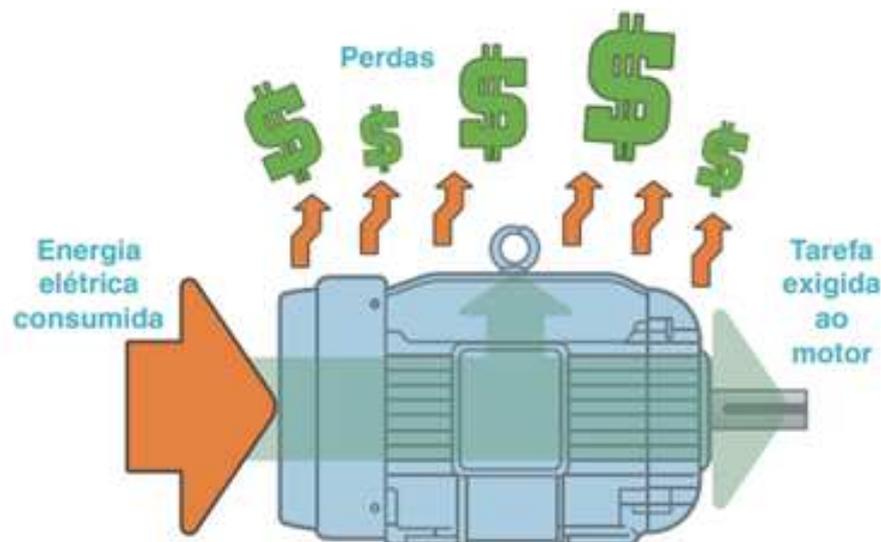
$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{saída} + Perdas} \quad (2.4)$$

Perdas

As perdas presentes no processo de conversão de energia elétrica em mecânica são comumente divididas em: perdas fixas como o próprio nome já diz, são perdas que independem da carga é perdas variáveis que relacionadas ao carregamento do motor. A energia que o motor demanda do sistema elétrico para realizar trabalho não é convertido

em sua totalidade, parte dessa energia é perdida no processo. A quantidade de energia perdida está relacionada a eficiência do motor, quanto maior o rendimento, menores serão as perdas, conseqüentemente menores serão os custos com o consumo. A Figura 3 ilustra de forma lúdica o processo de conversão de energia elétrica na entrada do motor em trabalho na saída e fazendo uma analogia entre as perdas elétricas e as perdas de dinheiro no processo.

Figura 3: Processo de conversão de energia elétrica no motor.



Fonte: (SOUZA et al., 2019).

2.4 Motores de Alto Rendimento

O motor de alto rendimento é feito com materiais de melhor qualidade e possui características construtivas que reduzem significativamente as perdas. Lembrando que as perdas influenciam no rendimento do motor, isso significa que os motores de alto rendimento necessitam de uma potência menor na sua entrada para produzirem a mesma potência mecânica de saída. Isso, faz com que o custo de operação dos motores de alto rendimento se torne mais barato que o custo de operação dos motores de baixo rendimento. Dentre as diferenças de um motor elétrico trifásico padrão e um de alto rendimento podemos citar:

- Maior quantidade de cobre: Reduz as perdas Joule no estator;
- Chapa magnética com baixas perdas: Reduz a corrente magnetizante e conseqüentemente as perdas no ferro;

- Enrolamento de dupla camada: Resulta em melhor dissipação de calor;
- Rotores tratados termicamente: Reduzem as perdas suplementares;
- Menor região do entreferro: Reduz as perdas suplementares;
- Ventilação: Os projetos de ventilação são otimizados de forma a reduzir as perdas por ventilação e obter uma maior eficiência.

2.4.1 Medidas de Eficiência Energética em Motores

Para manter os motores elétricos em boas condições e necessário usá-los bem e da forma mais eficiente possível, procurando eliminar as principais causas de desperdício no seu uso, que podem ser provenientes dos seguintes fatores:

- Perdas internas;
- Rendimento;
- Superdimensionamento dos motores;
- Fator de potência;
- Rede de alimentação;
- Manutenção e perdas mecânicas;
- Reparo e recondicionamento.

As medidas de eficiência energética em motores elétricos são aplicadas como forma de mitigar as causas dos desperdícios, essas medidas podem ser desde algo simples como a aplicação do conhecimento técnico das características da carga até uma análise de viabilidade para substituição de motores antigos por de maior rendimento.

2.4.2 Alteração do Horários de Funcionamento

A alteração do horário de consumo deve ser realizado em companhia do planejamento de funcionamento da empresa, para que seja estabelecidos os horários de funcionamentos de cada equipamento.

O sistema elétrico brasileiro possui um horário, onde é caracterizado por um aumento no consumo de energia pela maior parte da população. Dessa forma, é aplicada uma diferenciação dos preços cobrados para determinados tipos de consumidores. Esse intervalo é definido como "horário de ponta" que corresponde ao período de 3 (três) horas consecutivas, definido pela concessionária, com exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais. Consumidores do grupo A e B que possui a tarifa convencional são cobrados apenas uma taxa fixa, independente do horário de consumo. A Figura 4 apresenta a dinâmica dos horários de consumo do sistema elétrico brasileiro com a faixa de preços das tarifas em cada horário. A linha lilás representa a tarifa convencional, que durante todo o dia seu valor permanece constante. As barras verdes representam o horário fora de ponta, onde a tarifa é mais barata. A coluna laranja representa o horário intermediário definido por uma hora antes e uma hora após o horário de ponta. Já a barra vermelha representa o horário de ponta, período no qual a tarifa de energia é mais cara.

Figura 4: Horários de consumo e faixa de preços das tarifas do sistema elétrico brasileiro.



Fonte: Energisa (2020).

Como solução deve-se realizar planejamento e gerenciamento produtivo, que tem como finalidade a utilização dos motores nos horários em que a tarifa seja mais barata (horário fora de ponta) respeitando os horários de funcionamento definido para os motores.

2.4.3 Carregamento do Motor

O carregamento é definido como a quantidade de potência que o motor fornece a carga, ou seja, o quanto o motor está sendo requisitado para realizar um dado trabalho,

matematicamente é definido por:

$$\gamma = \frac{P_{mec}}{P_n} \quad (2.5)$$

Onde:

P_{mec} é a potência mecânica transferida a carga acoplada ao eixo do motor.

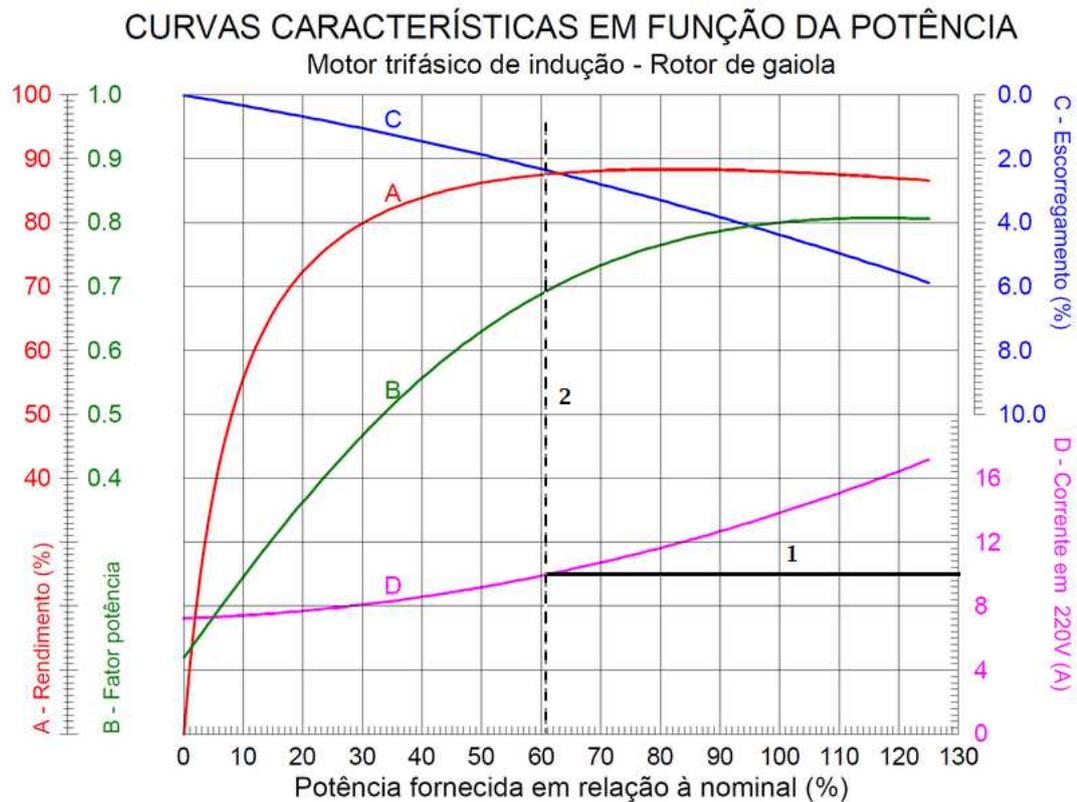
P_n é a potência nominal do motor.

γ é o carregamento do motor.

Para avaliar o carregamento do motor, mede-se a corrente elétrica durante uma operação normal de trabalho e no gráfico de curva de carga do motor, fornecido pelo fabricante, analisando, assim, o percentual da potência fornecida em relação à nominal. Outros fatores também podem ser estudados como o percentual de rendimento, o fator de potência e o escorregamento.

Como pode observar na Figura 5, o gráfico de curva de carga apresenta as quatro curvas, A, B, C e D. Para determinar o carregamento do motor utiliza-se apenas a curva D, que corresponde a corrente elétrica para tensão de 220 V. Após obter o valor da corrente com o auxílio de um amperímetro, basta traçar uma reta horizontal na escala de corrente na parte inferior direita do gráfico até tocar a curva D (reta 1 no gráfico). Depois traçar uma reta vertical até tocar o eixo das abcissas (reta tracejada 2). O ponto onde a reta tocar corresponde a relação entre a potência fornecida em relação à nominal em percentagem. No exemplo da figura acima, foi constatado que o carregamento do motor corresponde a cerca de 61% da potência nominal.

Figura 5: Curva de carga do motor elétrico trifásico de indução.



Fonte: Datasheet WEG

Em regime de trabalho for contínuo, especificar-se-á o motor para operar entre 75 e 100% da potência nominal, o que corresponde à faixa de melhor rendimento (WEG, 2018).

Nas indústrias grande parte dos motores não são dimensionados corretamente para a carga que irá atuar, ou mesmo são adquiridos para suprir uma determinada carga, porém com o decorrer do tempo acabam servindo outras finalidades. Atribuindo-se, a este fato: (1) o desconhecimento das características da própria carga; (2) os sucessivos fatores de segurança nas diversas etapas de projeto; (3) a expectativa de futuro aumento da carga; e (4) a falta de informações sobre métodos de dimensionamento mais adequados. Como consequência do superdimensionamento do motor elétrico citam-se, dentre outros, a redução do fator de potência e do rendimento e o aumento da corrente de partida (Campana et al., 1999).

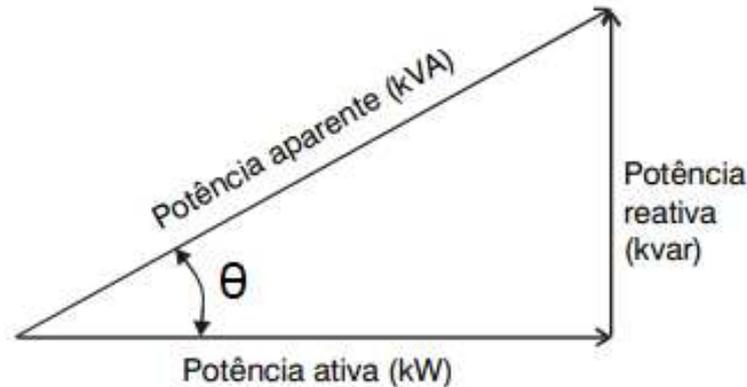
2.4.4 Correção de Fator de Potência

Em circuitos de corrente alternada, a variação da corrente produz, em qualquer bobina, variação do fluxo magnético. Ao cortar os próprios condutores, esta variação induz a uma tensão em sentido inverso, chamada de força contra eletromotriz, que tende a retardar o avanço da corrente. Isso faz com que a corrente se atrase em relação à tensão aplicada em um determinado ângulo.

O cosseno deste ângulo é chamado fator de potência (FP), causa consideráveis perdas de energia pelo efeito Joule (aquecimento) ao longo da rede e no próprio sistema. Além das perdas produzidas, muitas na conta de energia elétrica são aplicadas caso o FP não seja acima do estabelecido por lei, como forma solucionar são utilizados bancos de capacitores em paralelo para compensar o baixo fator de potência. Alternativamente, pode-se utilizar motores síncronos sobre-excitados ou circuitos eletrônicos chaveados.

Para se calcular o banco de capacitores necessário deve-se saber qual a potência reativa o motor está utilizando e calcular uma carga capacitiva capaz de neutralizar o excesso. Para isso, o triângulo retângulo é frequentemente utilizado para representar as relações entre kW, kvar e kVA, conforme a Figura 6.

Figura 6: Triângulo retângulo de potência.



Fonte: WEG (2012).

A partir do triângulo temos:

$$\cos\theta = \frac{kW}{kVA} \quad (2.6)$$

$$\cos\theta = \left(\arctg\left(\frac{kvar}{kW}\right) \right) \quad (2.7)$$

ou ainda,

$$\cos\theta = FP = \frac{kWh}{\sqrt{kWh^2 + kvarh^2}} \quad (2.8)$$

2.4.5 Inversores de Frequência

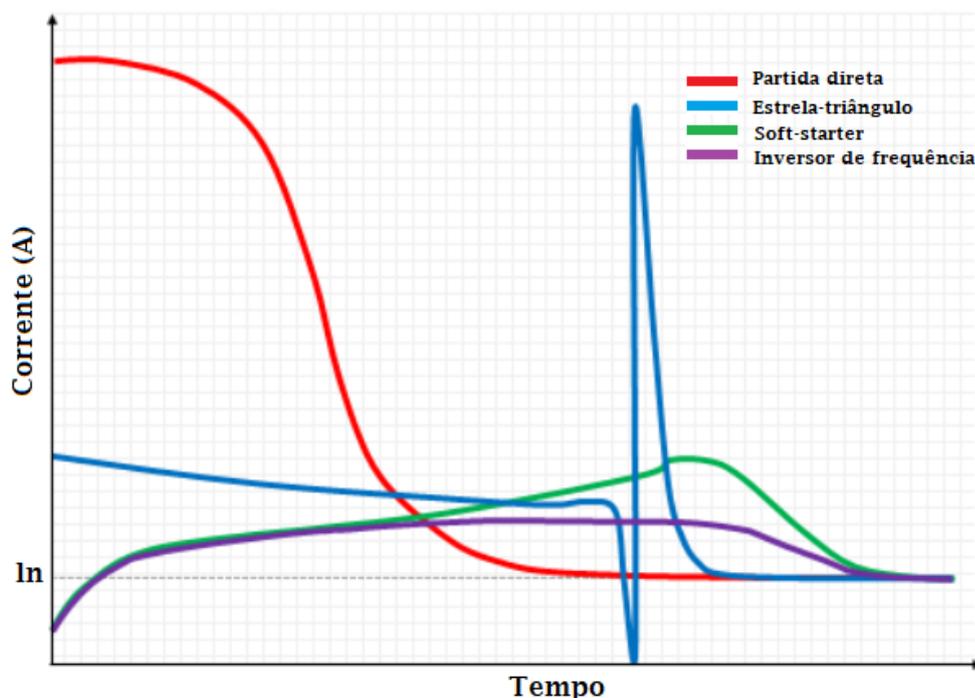
Existem várias maneiras de realizar o acionamento (ou partida) de um motor elétrico trifásico. Porém, definir o melhor ou a mais apropriada requer algumas análises como o tipo de aplicação e os custos envolvidos.

Os tipos de partidas mais usuais são: a partida direta é mais interessante em situações em que, por demanda da carga acionada pelo motor, deseja-se obter o desempenho máximo do motor logo no momento da partida e a partida estrela triângulo, porém são muito limitadas e na maioria das aplicações não é vantajosa. Para evitar o pico de corrente no instante da partida, o motor é acionado com alimentação em estrela, quando o motor estiver perto da velocidade nominal, um arranjo de contadores e dispositivos que possibilitam as manobras especialmente fabricada para este fim, muda a alimentação do

motor de estrela para triângulo. Desta forma, o pico de corrente é reduzido em 1/3 da corrente de partida em triângulo (MASCHERONI, 2005).

Outra forma de acionamento de motores é utilizando o inversor de frequência. Um equipamento eletrônico de potência, que recebe a energia da rede e fornece ao motor uma alimentação com tensão e frequência variável. Como a velocidade é diretamente proporcional a frequência, o inversor é programado de modo que a velocidade cresça gradativamente durante a partida ou seja, o inversor fornece uma frequência baixa e aos poucos vai aumentando até que o motor atinja a velocidade desejada. Com esse sistema, a corrente de acionamento se mantém praticamente igual à corrente nominal de trabalho como ilustra a Figura 7

Figura 7: Gráfico da comparação das correntes nos tipos de acionamentos.



Fonte: (BRUNA et al, 2012)

Quando acionamos motores na partida direta, circulará no bobinado do estator uma corrente elevada 6 a 8 vezes maior que a corrente nominal do motor (MASCHERONI, 2005). Utilizamos inversor de frequência, ele pode limitar a corrente de partida em aproximadamente 1,5 vezes o valor da corrente nominal.

O inversor de frequência também pode ser usado para o acionamento de conjunto de motor-bomba e possibilitar o controle de vazão e pressão da rede, o controle e feito pelo ajuste da velocidade de rotação até a obtenção da vazão desejada.

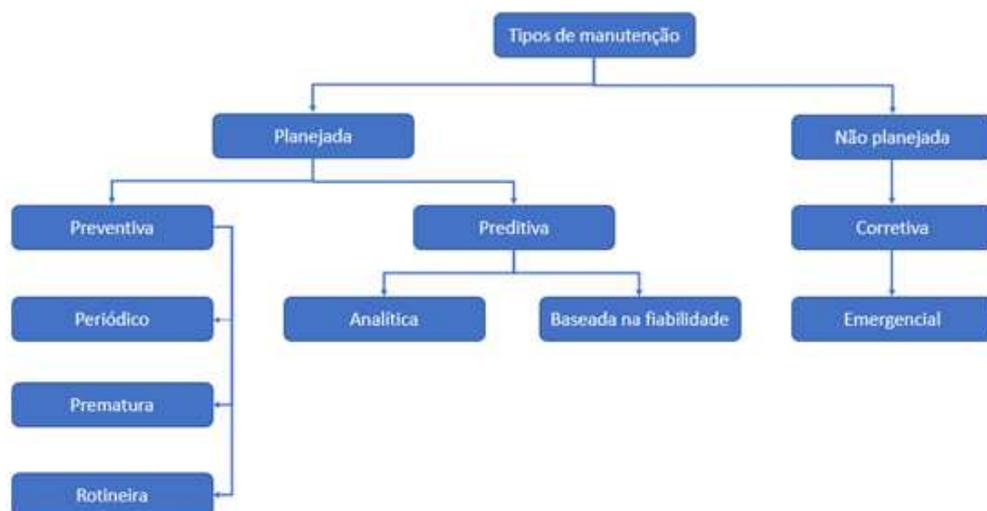
2.4.6 Manutenção

A manutenção se tornou uma função estratégica das empresas, onde o objetivo é manter o processo produtivo contínuo. Os tipos mais conhecidos de manutenção são:

- A Manutenção Corretiva é aquela que ocorre em situações não planejadas, pequenos panes em produção ou grandes quebras inesperadas. Para efeito de correção imediata do problema;
- A Manutenção Preventiva é todo o serviço a ser realizado em máquinas que não estejam em falha. Serão efetuados com intervalos predeterminados, para garantir a confiabilidade das peças e conjunto no geral;
- A Manutenção Preditiva é o tipo de manutenção baseado na observação de sinais originados do equipamento que permitam entender sua condição operacional, ou seja, manutenção com base no estado do equipamento, prevê a vida útil de cada parte equipamento.

Através do uso de planos de manutenção adequada, pode-se reduzir significativamente falhas que comprometam bom funcionamento do sistema, também a necessidade de reparações profundas (rebobinagem). No fluxograma apresentado na Figura 8, pode-se observar como estão classificados os tipos de manutenção e suas características.

Figura 8: Tipos de manutenção mais conhecidos para sistemas elétricos.



Fonte: Adaptado de Xenos (2004); Siqueira (2005)

Lembrando que, não existe o melhor tipo de manutenção, para obter mais efetividade na prevenção de falhas é necessário que as manutenções sejam realizadas em

conjunto, pois apenas um tipo de manutenção não será suficiente para evitar todas as eventualidades. As falhas decorrentes a falta de manutenção são provenientes tanto de fontes internas como externas. Elas podem afetar o bom funcionamento dos motores elétricos, podem ser de origem mecânica, elétrica e ambiental. Na Figura 9 e Figura 10, podem ser observadas as principais causas.

Figura 9: Fluxograma das fontes externas de falha do motor elétrico.



Fonte: Adaptado de Xenos (2004); Siqueira (2005)

Figura 10: Fluxograma das fontes internas de falha do motor elétrico.



Fonte: Adaptado de Xenos (2004); Siqueira (2005)

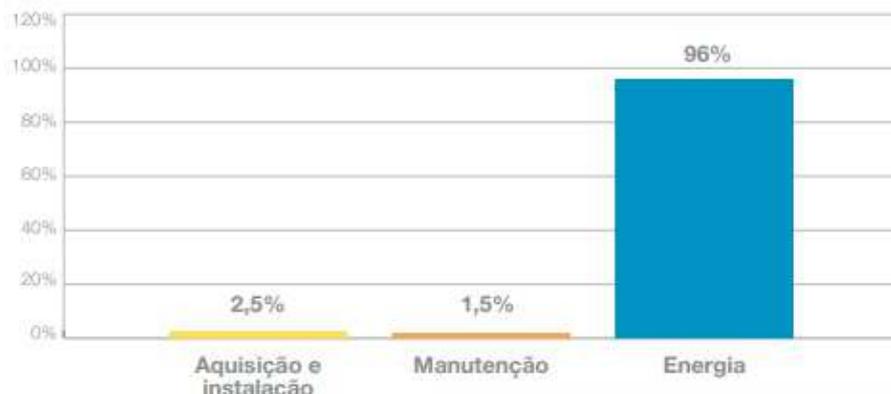
2.4.7 Substituição de motores elétricos

A vida útil dos motores elétricos gira em torno de 20.000 horas, nesse meio tempo sua eficiência reduz, conseqüentemente seu rendimento também. Quando ocorre o defeito, na maioria das vezes o motor é levado para o reparo e recondicionamento. Uma análise criteriosa deve ser feita na substituição de um motor elétrico, pois não compensa recuperar motores de pequenas potências, pois o custo geralmente é próximo ou superior ao de um motor novo ou ao de um de alto rendimento.

O rebobinamento do motor nem sempre é a melhor solução, embora o preço do conserto pareça mais atraente do que a aquisição de um novo motor, os custos relacionados ao consumo no decorrer do tempo podem não compensam a economia inicial, sem falar que não há segurança acerca do serviço realizado. Não há garantias de que um rebobinamento vá devolver ao motor velho o desempenho que ele tinha quando novo, porque dificilmente a oficina usará as ferramentas, técnicas corretas para este tipo de trabalho e materiais de mesma especificação daqueles utilizados na fabricação do motor. Isso causaria perdas diversas, aquecimento excessivo, queda de potência e aumento de consumo de energia. Sem falar que o rebobinamento reduz a eficiência de 1% a 5% e pode cair ainda mais quando submetido a enrolamentos repetidos.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel realizou uma pesquisa em abril de 2017 e constatou que o maior custo no decorrer da vida útil dos motores elétricos é o consumo. A Figura 11 Apresenta os custos de um motor elétrico durante sua vida útil (10 anos). Podemos observar que 96% dos custos estão relacionados ao consumo, enquanto os demais custos representam cerca de 4%.

Figura 11: Custos de um motor em 10 anos.



Fonte: (PROCEL, 2017)

A substituição de motores antigos por motores de alto rendimento é uma alternativa. Para isso, faz-se necessário um estudo de viabilidade econômica que garanta retorno ao valor investido.

2.5 Programa de eficiência energética para substituição de motores

2.5.1 Programa de eficiência energética – PEE

Com a instituição da Lei nº 9.991 em 2000, instaurou-se de fato a regulamentação da obrigatoriedade de investimentos em programas de eficiência energética. Atribuindo-se à ANEEL a responsabilidade pela condução do PEE - Programa de Eficiência Energética (PROCEL, 2020).

O Programa de eficiência energética tem como objetivo promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia (PROCEL, 2020).

No contexto de sistemas motrizes, O PEE tem atuado com dois tipos de ações: os projetos desenvolvidos pelas distribuidoras, regulado pela ANEEL e os projetos regulados pela Resolução Normativa nº 556, de 2/7/2013, os chamados projetos prioritários. Nos projetos prioritários, a ANEEL convoca as concessionárias de distribuição de energia elétrica interessadas em apresentar projetos de acordo com o delimitado na chamada pública. Um exemplo é o Projeto de Eficiência Energética Prioritário nº 002/2015, publicado em 27 de outubro de 2015, no Diário Oficial da União cuja finalidade era incentivar à substituição de motores elétricos (PROCEL, 2020).

Para o programa foram apresentadas 9 propostas de projeto, sendo 8 aprovadas e uma reprovada, posteriormente uma proposta foi cancelada devido a desistência da própria empresa. O projeto foi realizado com as 7 empresas, sendo investido mais de 80 mil reais (PROCEL, 2020). A Tabela 2 apresenta as distribuidoras contempladas no projeto de Eficiência Prioritário nº002/2015, ressaltando os valores de cada projeto.

Tabela 2: Tabela com as distribuidoras que tiveram suas propostas aprovadas para participar do Projeto de Eficiência Prioritário nº 002/2015.

Distribuidora	Resultado	Valor Proposto (R\$)
Grupo CPFL	Aprovado	13.000.000,00
ELEKTRO	Aprovado	1.346.244,54
CEMIG	Aprovado	6.326.752,00
CELESC	Aprovado	40.026.845,72
COCEL	Aprovado	10.035.600,10
Grupo NEOENERGIA	Aprovado	8.000.000,00
ELETROPAULO	Aprovado	1.500.000,00
CELG	Reprovado	
DME	Aprovado (*)	
Total		80.235.442,36

Fonte: (PROCEL, 2020).

2.5.2 Plano de troca WEG

O programa Plano de Troca da WEG incentiva a substituição de motores usados, funcionando ou não, desde que completos (rotor com bobinagem completa, estator, carcaça, tampas), de qualquer marca ou modelo, entra como parte do pagamento na compra de um motor WEG novo, de alta eficiência (WEG, 2017). Os valores dos descontos oferecidos no plano funcionam da seguinte forma:

- Se os motores (sucatas) que serão entregues forem iguais aos motores que estão sendo adquiridos, então será aplicado um desconto de 8% do valor final do novo motor com imposto. Ex.: se o motor custa R\$ 8.000 o valor do desconto será de R\$ 800,00.
- Se os modelos a serem entregues forem diferentes dos que serão adquiridos, para o cálculo utiliza-se como base os valores dos motores da linha *premium*. Aplica-se 8% do valor atual da linha *premium* e os valores irão se somando em um banco de crédito.

O percentual de desconto é de 8%, mas pode chegar a 12% caso o cliente envie até 50% a mais de sucata que está adquirindo, não há quantidade mínima de motores a serem enviados e o crédito obtido no banco de crédito é válido por até um ano. Outra informação importante no programa é que, acima de 500 cv (motor ou acumulado de motores) o frete é por conta da WEG (WEG, 2017).

2.6 Método de análise

Há vários fatores que influenciam no cálculo do retorno do investimento do projeto de substituições de motores antigos por de alto rendimento.

2.6.1 Fatores determinantes para a análise

- Tarifa de consumo de energia elétrica: Valor monetário estabelecido pela ANEEL, fixado em R\$ (reais) por unidade de energia elétrica ativa, base para a definição do preço a ser pago pelo consumidor e explicitado na fatura de energia elétrica;
- Preço do motor de alto rendimento: Valor cobrado para adquirir o novo motor, este valor leva em consideração o desconto que poderá ser aplicado na devolução do motor usado.
- Rendimento do motor de baixo rendimento é a relação entre a potência mecânica desenvolvida no eixo do motor e a potência elétrica ativa que ele consome da rede de alimentação;
- Rendimento do motor de alto rendimento: é a relação entre a potência mecânica desenvolvida no eixo do motor e a potência elétrica ativa que ele consome da rede de alimentação. Os motores de alto rendimento foram desenvolvidos para proporcionar um menor consumo de energia elétrica da rede devido ao seu elevado rendimento;
- Número de horas de operação: é expresso pelo número de horas ao longo as quais o motor permanece em operação mensalmente, estas informações comumente estão contidas no ciclo de trabalho do motor;
- Payback ou tempo de retorno de um investimento: é o tempo necessário para recuperar o custo de um investimento. Também pode ser visto como um indicador que dá um primeiro panorama sobre a viabilidade do investimento no projeto.

Um motor elétrico de alto rendimento operando H horas em média por ano, solicitando da rede elétrica uma potência elétrica P_e (em kW), a energia elétrica consumida anualmente é:

$$E = P_e * H \quad (2.9)$$

A potência elétrica P_e se relaciona com a potência mecânica P desenvolvida no eixo através do rendimento η , *fazendocomqueaequaçãoofique* :

Caso a potência do motor seja dada em HP, *horse power*, o fator de conversão deve ser 0,736. Desta maneira, o consumo de energia elétrica pode ser calculado por:

$$E = \frac{P * 0,736 * H}{\eta} \quad (2.10)$$

Considerando-se, respectivamente, os rendimentos η_{AR} e η_{BR} para os motores da linha alto rendimento e motores de baixo rendimento. A determinar a economia de energia anual EEA da comparação entre os motores de alto rendimento e baixo rendimento é dado por:

$$EEA = \frac{P * 0,736 * H}{\eta_{AR}} - \frac{P * 0,736 * H}{\eta_{BR}} \quad (2.11)$$

Como ambos os motores desenvolvem a mesma potência mecânica e possuem o mesmo ciclo de trabalho, a economia de energia anual EEA, ao se optar pelo motor de alto rendimento, será:

$$EEA = P * 0,736 * H * \left(\frac{1}{\eta_{AR}} - \frac{1}{\eta_{BR}} \right) \quad (2.12)$$

A equação acima se aplica à operação com carga constante, com os motores operando com mesma tensão e velocidade. Para carga variável, deve-se calcular os valores da economia obtidos em cada intervalo de carga e somá-los para a obtenção da economia anual (ELETROBRAS, 2016).

2.6.2 Valor De Retorno

O valor de retorno nada mais é que a economia expressa em reais, para isso multiplicaremos a equação de economia de energia pelo valor da tarifa média de consumo de energia elétrica T em R\$/kWh (Eletrobras, 2016).

$$VR(R\$) = EEA * T \quad (2.13)$$

2.6.3 Prazo de Retorno de Investimento

Prazo de retorno de investimento (PRI) é o cálculo tempo de retorno do investimento simplificado (payback simples), é levado em consideração o valor de retorno EEA e a diferença entre os preços dos motores elétricos Car (custo de aquisição do motor de alto rendimento) e Dbr (desconto recebido pelo motor de baixo rendimento). Assim o tempo de retorno de investimento (em anos) é dado pela equação abaixo:

$$PRI = \frac{Car - Dbr}{VR} \quad (2.14)$$

Caso seja realizada a substituição dos motores e não se obtenha lucro com a vendas desses motores de baixo rendimento, o custo Dbr será zero. O cálculo do PRI apresentado anteriormente considera a tarifa de energia elétrica média e constante durante todo o tempo, desconsiderando a horo-sazonalidade. Também não leva em conta a tarifa da demanda para diferentes tipos de modalidades nem o aumento do custo de energia anual. Uma boa estimativa da tarifa pode ser obtida dividindo-se o valor da conta pela energia consumida. Assim dessa maneira o valor da demanda seria incluso no preço da tarifa T (ELETROBRAS, 2016).

O PRI não considera fatores importantes como o valor da moeda no tempo, com isso devem se fazer um estudo mais aprofundado para que as simulações se aproximem da realidade (ELETROBRAS, 2016).

Os motores elétricos de alto rendimento apresentam perdas menores que os motores de baixo rendimento, isso significam que este motor produz a mesma potência mecânica de saída com menos potência elétrica de entrada. Isso implica dizer que quanto maior o rendimento motor, menor é o custo operacional (ELETROBRAS, 2016).

O custo de operação dos motores elétricos é obtido pela seguinte expressão:

$$CO = \frac{0,736 * H * V * P * T}{\eta} \quad (2.15)$$

Onde:

V é vida útil do motor.

CO é custo de operação.

A partir de que foi exposto, fez-se um estudo de caso para averiguar a viabilidade

de troca.

3 *ESTUDO DE CASO*

Como objeto de estudo teremos uma empresa de fabricação de artigos de serralheria localizada em São Caetano do Sul no estado de São Paulo. Trata-se da T.G.F. Dispositivos para Metalização de Faróis e Lanternas, uma empresa de médio porte que iniciou suas atividades nos anos 2000. Um projeto de eficiência elétrica já vem sendo realizado na empresa, como troca da instalação, ajuste de demanda, da modalidade tarifária e dos horários de consumo.

Esse estudo irá determinar em quanto tempo a empresa terá o retorno do investimento empregado na aquisição de motores de alto rendimento, que irão substituir os motores de baixo rendimento. A análise será realizada em cada motor individualmente para determinar dentre os motores quais trarão um retorno.

3.1 Dados do sistema atual

Para as análises foram levantadas algumas informações acerca das características construtivas e dados de placa dos motores elétricos, horário de funcionamento do estabelecimento e de cada máquina, tipo de ligação, modalidade tarifária, dentre outras.

Para isso foram considerados as seguintes condições:

- O Estabelecimento funciona de segunda a sábado, entre os horários das 5:00 horas às 18:00;
- O estabelecimento pertence ao grupo A, subgrupo A4 e possui modalidade tarifária verde. Pelo horário de funcionamento das máquinas a tarifa utilizada é a do horário fora de ponta da modalidade verde, o valor de R\$ 0,31652 por kWh consumido sem impostos e em média R\$ 0,49180 por kWh com impostos;
- Em relação ao tempo de operação das máquinas, foi considerado 305 dias anualmente, funcionando as 13 horas diárias.

Também foram levantadas as características elétricas e construtivas dos motores elétricos a partir dos dados de placa ou por medição usando o qualímetro digital, já que algumas placas os dados estavam apagados. Esses dados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Tabela com o levantamento das características dos motores de baixo rendimento

Máquinas	Potência unit. (CV)	Potência unit. (kW)	Quant.	Potência total (KW)	Rendimento (%)	Horario fora de ponta (horas)
Mandrilhadora CNC	75	55,95	1	55,95	90,2	13
Aglomerador CIL e RET.	60	44,76	2	89,52	91,3	13
MEPEIII	40	29,84	1	29,84	89,0	13
Prensa hidraulica FAREX 200 T	30	22,38	1	22,38	88,9	13
Mionho faca/ contra faca	30	22,38	1	22,38	86,0	13
Centro de usinagem ROMI D 1500	30	22,38	1	22,38	90,1	13
MEPI	25	18,65	3	55,95	89,0	13
Torno	25	18,65	3	55,95	90,0	13
Prensa hidraulica FAREX 100 T	20	14,92	3	44,76	89,5	13
Perfiladeira	12,5	9,33	1	9,33	83,0	13
Horizontal	10	7,46	1	7,46	83,0	13
Aglomerador conv (weg)	7,5	5,60	2	11,19	85,0	13

Fonte: Autoria própria.

3.2 Dados dos motores de alto rendimento

Os motores da WEG foram escolhidos devido o programa Plano de Troca, fazendo com que os motores usados sirvam como desconto no preço final dos motores, foi pedido uma proposta comercial solicitando preço e rendimento dos modelos IR3 W22 *premium* e IR4 W22 *super premium* com podem ver na Tabela 4:

Tabela 4: Características dos motores de Alto rendimento.

Potência IR4 W22 super premium (CV)	Rendimento (%)	Preço (R\$)	Potência IR3 W22 premium (CV)	Rendimento (%)	Preço (R\$)
75	95,8	34.514,68	75	94,6	30.012,78
60	95,6	31.098,03	60	94,2	27.041,76
40	95,0	18.819,41	40	93,6	16.634,69
30	94,3	15.951,60	30	93,0	12.957,82
30	94,3	15.951,60	30	93,0	12.957,82
30	94,3	15.951,60	30	93,0	12.957,82
25	94,1	11.786,00	25	92,6	9.000,00
25	94,1	10.865,84	25	92,6	9.321,29
20	93,6	9.248,22	20	92,1	8.041,94
12,5	93,1	6.143,66	12,5	91,0	5.215,72
10	92,7	6.021,26	10	90,4	4.642,90
7,5	92,0	4.502,37	7,5	89,6	3.714,70

Fonte: Autoria própria.

3.3 Consumo anual

Inicialmente, determinou-se a economia de energia elétrica anual em R\$ dos motores elétricos de baixo rendimento comparado aos motores W22 *premium* IR3 e W22 *super premium* IR4. Os cálculos serão realizados apenas para a Mandrilhadora CNC, as demais máquinas encontram-se no anexo A.

Determinando a economia de energia elétrica anual em kWh entre os motores de baixo rendimento e os motores W22 *premium* IR3 é:

$$EEA = 3660 * 55,95 \left(\frac{1}{0,902} - \frac{1}{0,946} \right) \quad (3.1)$$

$$EEA = 11.439,269 \text{ kWh}$$

Obtendo-se a economia em R\$ para a relação entre os motores de baixo rendimento e os motores IR3 W22 *premium*.

$$VR = 11.439,269 * 0,49180 \quad (3.2)$$

$$VR = 5.625,83 \text{ reais}$$

Já a economia de energia elétrica anual em kWh entre os motores de baixo rendimento e os motores IR4 W22 super *premium* é:

$$EEA = 3660 * 55,95 \left(\frac{1}{0,902} - \frac{1}{0,958} \right) \quad (3.3)$$

$$EEA = 14.376,702 \text{ kWh}$$

calculando em reais temos,

$$VR = 14.376,702 * 0,49180 \quad (3.4)$$

$$EEA = 7.070,46 \text{ reais}$$

Na Tabela 5 pode ser observado o valor da economia anua em R\$ e em kWh para as demais máquinas.

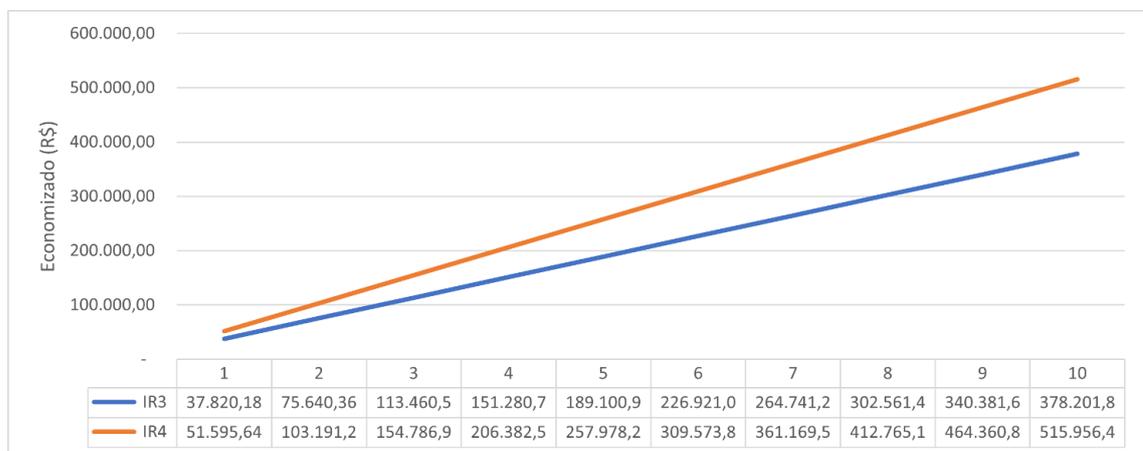
Tabela 5: Comparação da economia anual entre os motores elétricos IR3 e IR4.

Máquinas	EEA IR3 (kWh)	EEA IR4 (kWh)	EEA' IR3 (R\$)	EEA' IR4 (R\$)
Mandrilhadora CNC	11439,269	14376,702	5.625,83	7.070,46
Aglomerador CIL e RET.	11968,496	17486,506	5.886,11	8.599,86
MEPEIII	6533,321	8396,140	3.213,09	4.129,22
Prensa hidráulica FAREX 200 T	4400,504	5715,886	2.164,17	2.811,07
Mionho faca/ contra faca	7766,403	9081,785	3.819,52	4.466,42
Centro de usinagem ROMI D 1500	3071,097	4386,479	1.510,37	2.157,27
MEPI	9690,469	13509,331	4.765,77	6.643,89
Torno	6920,909	10739,771	3.403,70	5.281,82
Prensa hidráulica FAREX 100 T	5597,885	8685,968	2.753,04	4.271,76
Perfiladeira	3916,179	4832,653	1.925,98	2.376,70
Horizontal	2917,207	3729,030	1.434,68	1.833,94
Aglomerador conv (weg)	2679,811	3971,591	1.317,93	1.953,23

Fonte: Autoria própria.

Foi analisado também, o valor da economia durante o tempo de vida útil do equipamento (10 anos), a fim de determinar o quanto será economizado com a substituição dos novos motores e qual trará o maior lucro.

Figura 12: Comparação da economia durante a vida útil dos motores.



Fonte: Autoria própria

De acordo com o disposto no gráfico, pode-se afirmar que o valor da economia gerado pelos motores IR4 super *premium* é mais de meio milhão de reais.

3.4 Tempo de retorno de investimento

O tempo de retorno de investimento leva em conta o preço de aquisição dos motores elétricos de alto rendimento e o preço dos motores de baixo rendimento, ou seja, o valor do desconto de 12% do valor final dos motores sem impostos, seguindo o estabelecido o

Plano de Troca da WEG. O cálculo do tempo de retorno de investimento seguirá o mesmo esquema, realizou-se para a Mandrilhadora CNC e os demais equipamentos podem ser encontrado no anexo A.

$$PRI = \frac{Car - Dbr}{VR}$$

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{30.012,78 - 3.601,53}{5625,832654}$$

$$PRI = 4,69 \text{ anos}$$

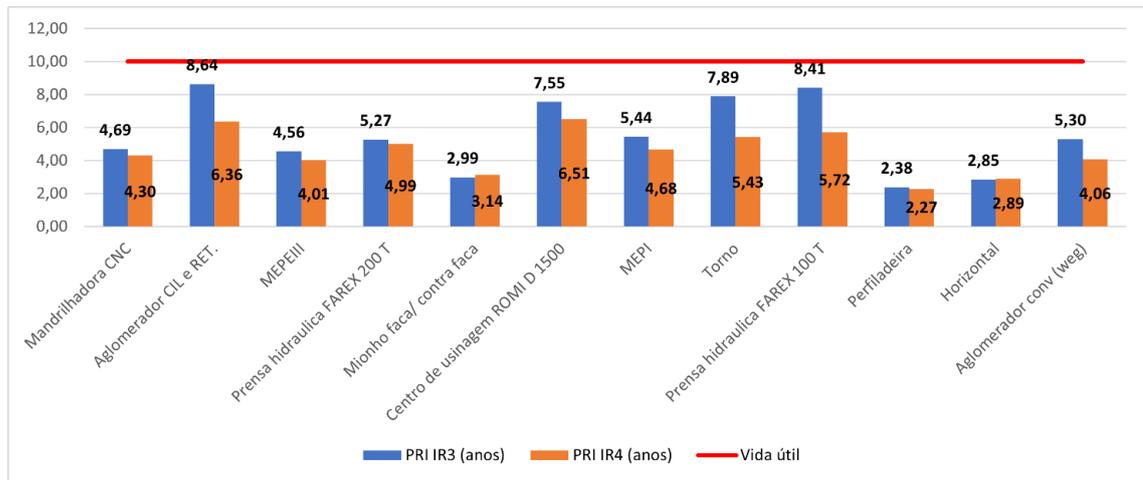
Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{34.514,68 - 4.141,76}{7070,461915}$$

$$PRI = 4,30 \text{ anos}$$

A Figura 13 apresenta o *payback* dos motores dos motores individualmente, em vermelho foi traçado uma linha na horizontal, onde representa a vida útil dos motores em anos, de modo que a ultrapassar desse limite implica em um tempo de retorno maior que a vida útil, inviabilizando o projeto. As barras azuis representam o tempo de retorno do investimento para motores do tipo IR3 W22 *premium*, enquanto que, as barras em laranja representam o tempo de retorno do investimento para os motores IR4 W22 super *premium*. Pode-se observar que alguns equipamentos possuem o tempo de retorno bem próximo do tempo d vida útil do equipamento, como é o caso do aglomerador CIR. e RET., que possui um retorno após 8 anos e sete meses. Isso pode implicar na decisão de escolha da substituição do equipamento, ainda mais quando o custo de aquisição é alto. Em contrapartida, alguns equipamentos possuem o tempo de retorno de investimento menores como é o caso da perfiladeira, apresentado um retorno em 2 anos e 5 meses. Nota-se também que, nem sempre o motor com o melhor rendimento irá apresentar um tempo de retorno menor, um caso que exemplifica isso é o moinho faca, onde apresenta um retorno menor para os motor do tipo IR3 premium, isso ocorre devido o alto custo para aquisição do motor do tipo IR4 super *premium*.

Figura 13: Comparação da economia durante a vida útil dos motores.



Fonte: Autoria própria

Portanto, para a análise individual constatou-se que todos os motores possuem um retorno de investimento aceitável, porém alguns mostram ter um tempo de retorno bem próximo da vida útil.

3.5 Análise do conjunto de motores

Calculando o consumo do conjunto dos motores de baixo rendimento temos:

$$E = \Sigma\left(\frac{P * 0,736 * H}{\eta}\right) \quad (3.5)$$

$$E = 245.944,29 + 388.769,77 + 132.938,88 + 99.816,31 + 103.182,21 + 98.486,90 + 249.260,39 + 246.490,83 + 198.294,30 + 44.546,54 + 35.637,23 + 52.198,06$$

$$E = 189.5565,712 \text{ kWh}$$

Para os motores IR3 temos,

$$E_{IR3} = 234.505,02 + 376.801,27 + 126.405,56 + 95.415,81 + 95.415,81 + 95.415,81 + 239.569,92 + 239.569,92 + 192.696,42 + 40.630,36 + 32.720,02 + 49.518,25$$

$$E_{IR3} = 181.8664,163 \text{ kWh}$$

Para os motores IR4 temos,

$$E_{IR4} = 231.567,59 + 371.283,26 + 124.542,74 + 94.100,42 + 94.100,42 + 94.100,42 + 235.751,06 + 235.751,06 + 189.608,33 + 39.713,88 + 31.908,20 + 48.226,47$$

$$E_{IR4} = 1790653,869 \text{ kWh}$$

Determinamos a economia de energia de IR3 em R\$ multiplicado a diferença de consumos pela tarifa.

$$VR_1 = (E - E_{IR3}) * T$$

$$VR_1 = (1895565,712 - 1818664,163) * 0,4918$$

$$VR_1 = 37820,18204$$

E a economia de energia de IR4 em R\$ é:

$$VR_1 = (1895565,712 - 1790653,869) * 0,4918$$

$$VR_1 = 51.595,64438$$

O *Payback* para o conjunto do motores é dado por:

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{235.982,16 - 28.317,86}{37.820,18204}$$

$$PRI = 5,49 \text{ anos}$$

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{280.194,79 - 33.623,37}{51.595,64438}$$

$$PRI = 4,78 \text{ anos}$$

Analisando os resultados de *payback*, podemos afirmar que a aquisição de motores de alto rendimento de ambos os modelos se pagariam durante a vida útil estimada e ainda obteria um retorno financeiro. Os motores elétricos IR4 apresentarem melhor rendimento em comparação com IR3, o tempo de retorno de investimento dele menor, porém demanda alto custo para aquisição.

3.6 Manutenção

Os custos para manter bom funcionamento dos motores elétricos abrange desde os custos das paradas até a manutenção. Os motores de alto rendimento são desenvolvidos com novos materiais, componentes e processos de fabricação, entre outros, focando no objetivo principal de diminuir as perdas no motor elétrico. Essas melhorias fazem com que, além do aumento da eficiência prologa a vida útil e o tempo entre as manutenções.

A manutenção é um fator que influencia no rendimento do motor, contudo é difícil determinar os valores envolvidos no processo. Uma boa lubrificação, limpeza na ventilação e a verificação das conexões são exemplos de ações que auxiliam o bom funcionamento dos motores elétricos. Assim, o tempo de retorno do investimento irá reduzir quando essas informações adicionais forem levadas em consideração.

Para análise dos custos de manutenção foi usado como base a pesquisa realizada pela PROCEL sobre os custos de um motor elétrico durante sua vida útil, como foi apresentado na Figura 11, tendo como custos de manutenção representa por 1,5% dos custos totais.

Para determinar os custos de manutenção iremos calcular os custos operacionais de cada motor e verificar a parcela que representa o valor da manutenção anual.

Realizando o cálculo do custo operacional para a Mandrilhadora temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 55,95 * 0,4918}{0,902} \quad (3.6)$$

$$CO = 1.209.554,02 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 55,95 * 0,4918}{0,946} \quad (3.7)$$

$$CO = 1.153.295,69 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 55,95 * 0,4918}{0,958} \quad (3.8)$$

$$CO = 1.138.849,40 \text{ reais}$$

Na Tabela 6 apresenta os custos de operação de cada de cada motor para os três casos, a partir destes foram calculados os valores referentes a manutenção definido acima.

Tabela 6: Tabela com os custos de operação e custos de manutenção de cada motor elétrico.

Máquinas	CO (Antigo)	Custo de Manutenção (antigo)	CO (IR3)	Custo de Manutenção (IR3)	CO (IR4)	Custo de Manutenção (IR3)
Mandrilhadora CNC	1.209.554,02	18.899,28	1.153.295,69	18.020,25	1.138.849,40	17.794,52
Aglomerador CIL e RET.	1.911.969,73	29.874,53	1.853.108,66	28.954,82	1.825.971,09	28.530,80
MEPEIII	653.793,39	10.215,52	621.662,52	9.713,48	612.501,18	9.570,33
Prensa hidráulica FAREX 200 T	490.896,61	7.670,26	469.254,94	7.332,11	462.785,89	7.231,03
Mionho faca/ contra faca	507.450,11	7.928,91	469.254,94	7.332,11	462.785,89	7.231,03
Centro de usinagem ROMI D 1500	484.358,59	7.568,10	469.254,94	7.332,11	462.785,89	7.231,03
MEPI	1.225.862,61	19.154,10	1.178.204,89	18.409,45	1.159.423,73	18.116,00
Torno	1.212.241,92	18.941,28	1.178.204,89	18.409,45	1.159.423,73	18.116,00
Prensa hidráulica FAREX 100 T	975.211,38	15.237,68	947.680,98	14.807,52	932.493,78	14.570,22
Perfiladeira	219.079,86	3.423,12	199.820,10	3.122,19	195.312,88	3.051,76
Horizontal	175.263,89	2.738,50	160.917,07	2.514,33	156.924,52	2.451,95
Aglomerador conv (weg)	256.710,05	4.011,09	243.530,74	3.805,17	237.177,77	3.705,90
Total	9.322.392,17	145.662,38	8.944.190,35	139.752,97	8.806.435,73	137.600,56

Fonte: Autoria Própria.

De acordo com os cálculos observa-se que a economia resultante da troca relacionado aos custos de manutenção entre os motores antigos e os motores do tipo IR3 W22 premium é de R\$ 5.909,40 em 10 anos e R\$ 590,94 anual. Já para a economia obtida nos custos de manutenção referente a substituição dos motores antigos e os motores do tipo IR4 W22 é de R\$ 8.061,82 em 10 anos e R\$ 806,18 anual.

Esses lucros fazem com que o tempo de retorno do investimento para motores do tipo IR3 W22 premium reduza para 5,33 anos e motores do tipo IR4 W22 super premium 4,62 anos.

4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O estudo realizado neste trabalho de conclusão de curso mostrou a importância do projeto de eficiência elétrica em motores elétricos na indústria. A partir de um estudo de caso real, foram realizadas análises para verificar a viabilidade da substituição de motores elétricos de baixo rendimento por motores novos de rendimento superior e que estejam de acordo com o decreto vigente.

O estudo de viabilidade mostrou que o investimento realizado para a aquisição do grupo de motores da linha W22 IR3 *premium* da WEG foi de R\$ 235.982,16 enquanto o grupo de motores da linha W22 IR4 super *premium* foi de R\$ 280.194,79. O retorno de investimento anual dos motores W22 IR4 super *premium* é R\$ 51.595,64438 passando de meio milhão em 10 anos, enquanto o modelo IR3 *premium* é de R\$ 37.820,18204 reais.

O tempo de retorno de investimento obtidos para os dois modelos encontram-se dentro do tempo de vida útil das máquinas, tanto para análise individual, como para análise com conjunto. O tipos de motores que tiveram um tempo de retorno mais rápido foi o modelo IR4 super *premium* com um tempo de retorno para o conjunto de motores de 4 anos e 10 meses.

A análise dos custos relacionado a manutenção, apesar de mostrar um retorno baixo, ainda sim é relevante e reduz o tempo de retorno do investimento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA ANEEL: DECRETO Nº 4.508, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2002. Dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4508.htm>. Acesso em: maio/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA ANEEL: Resolução Normativa ANEEL n. 479, de 3 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>>. Acesso em: maio/2021.

ALMEIDA, A. T.; FERREIRA, F. J. T. E.; BOTH, D. - Technical and Economical Considerations in the Application of Variable-Speed Drives with Electric Motor Systems. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 41, p. 188-199, 2005.

BRASIL. Lei 10.295, de 17.out.01 Lei de Eficiência Energética”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 18.out.2001. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. último acesso em: maio/2021.

BRUNA, B. P. D.; et al. Estudo De Acionamentos das Chaves de Partidas Elétricas e Eletrônicas para Motores Elétricos. In: 1º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul, 504, 2012. Disponível em: < <https://core.ac.uk/download/pdf/228874986.pdf>>. Último acesso: maio/2021.

CAMPANA, S.; OLIVEIRA FILHO, D.; SOARES, A.A; OLIVEIRA R.A. Racionalização da potência de motores elétricos em sistemas de irrigação por aspersão convencional e pivô central. Engenharia na Agricultura, Viçosa, 1999.

Chapman, S.J., *Electric Machinery Fundamentals*, New York: McGraw Hill, 1998.

CLETO, A. C. C. Motores elétricos de alto rendimento. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em: . Acesso em: maio/2021.

DORF, Richard C. *Systems, controls, embedded systems, energy, and machines*. CRC press, 2016.

Eletróbrás [et al.]. *Motor elétrico: guia básico*. Brasília: IEL/NC, 2009.

Eletróbras. *Motor Elétrico Premium* Rio de Janeiro: Eletróbras, 2016.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] - Balanço Energético Nacional (BEN) 2020 Balanço Energético Nacional (BEN) 2020: Ano base 2019, 2020. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br> >. Último acesso em maio/2020.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] ABCDENEGIA, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia_> ultimo acesso em: maio/2020.

Fitzgerald, A.E., *Máquinas elétricas*, 6^a Ed., São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

GARCIA, A. G. P. Impacto da Lei de Eficiência Energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria. 2003. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ. 2003.

MASCHERONI, José M.; LICHTBLAU, Marcos; GERALDI, Denise. *Guia de aplicação de inversores de frequência*. Santa Catarina: WEG Automação, 2005.

MME [Ministério de Minas e Energia] *Sinopse da Mineração e Transformação Mineral - Sinopse da Mineração e Transformação Mineral - 2019 base 2018 2019*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e->

transformacao-mineral/publicacoes/sinopse-mineracao-ettransformacao-mineral?_20_displayStyle=descriptive&p_p_id=20>. Acesso em maio/2021.

PROCEL - Acionamento Eletrônico Guia Avançado. Rio de Janeiro, dez, 2004.

PROCEL -Troca de motores como indutora de competitividade na indústria brasileira. Rio De Janeiro 2017.

PROCEL - Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento. Rio de Janeiro, p. 36-63, 2005.

PROCEL. Motor de Alto Rendimento: Guia Técnico. Rio de janeiro, 2002.

PROCEL: PRESTAÇÃO DE CONTAS 2º PLANO ANUAL DE APLICAÇÃO DE RECURSOS DO PROCEL (PAR/2018-2019) (Lei n° 13.280/2016). 2020 Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656831/0/Prestacao+de+contas+do+2+PAR_/ff5e098b-97dd-6cc0-a7dd-2fef2f31b468>. Acesso em: maio/2021.

SILVEIRA, Wilson Pereira da. Planejamento, Programação e Controle de Manutenção. Estado-da-Arte Consultoria e Treinamento Ltda, 2008.

SIQUEIRA, Iony Patriota. Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SOUZA, R. C.; CALILI, R. F.; VIEIRA, R. S., FAGUNDES, W. Cartilha de orientação para usuários de motores elétricos reconicionados. Procobre, 2019.

XENOS, H. G. Gerenciando a Manutenção Produtiva. Belo Horizonte: Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

WEG. Programas para Eficiência Energética. 2013. Disponível em: <http://www.weg.net/green/_files/Diretivas-Globais-de-Eficiencia-Energetica_-_Apresentacao.pdf>. Acesso em maio/2021.

WEG. Plano de Troca WEG. Jaraguá do Sul SC, 2017. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/he3/h92/FAQ-plano-de-troca-de-motores.pdf>> Acesso em maio/2021

WEG. Manual para Correção do Fator de Potência. 2012. Disponível em:
<<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hea/h8b/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: maio/2021.

ANEXOS A - CÁLCULOS

Mandrilhadora CNC

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 55,95 * \left(\frac{1}{0,902} - \frac{1}{0,946} \right) \quad (4.1)$$

$$EEA = 11.439,269 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR = 11.439,269 * 0,49180$$

$$VR = 5.625,83 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 super *premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 55,95 * \left(\frac{1}{0,902} - \frac{1}{0,958} \right) \quad (4.2)$$

$$EEA = 14.376,702 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ super *premium* IR4.

$$VR = 14.376,702 * 0,49180$$

$$EEA = 7.070,46 \text{ reais}$$

Aglomerador CIL e RET. 2 unid.

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 89,52 * \left(\frac{1}{0,913} - \frac{1}{0,942} \right) \quad (4.3)$$

$$EEA = 11,968,4961 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR = 11968,4961 * 0,49180 \quad (4.4)$$

$$VR= 5.886,106384 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 super *premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 89,52 * \left(\frac{1}{0,913} - \frac{1}{0,956} \right) \quad (4.5)$$

$$EEA = 17486,50639 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ super *premium* IR4.

$$VR=17486,50639 * 0,49180$$

$$EEA = 8599,863843 \text{ reais}$$

MEPEIII

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 29,84 * \left(\frac{1}{0,890} - \frac{1}{0,936} \right) \quad (4.6)$$

$$EEA = 6.533,320849 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR= 6.533,320849 * 0,49180$$

$$VR= 3.213,087194 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 super *premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 29,84 * \left(\frac{1}{0,890} - \frac{1}{0,950} \right) \quad (4.7)$$

$$EEA = 8.396,139562 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ super *premium* IR4.

$$VR=8396,139562 * 0,49180$$

$$EEA = 4129,221437 \text{ reais}$$

Prensa hidraulica FAREX 200 T

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 22,38 \left(\frac{1}{0,889} - \frac{1}{0,93} \right) \quad (4.8)$$

$$EEA = 4.400,50401 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR = 4.400,50401 * 0,49180$$

$$VR = 2164,167872 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 *super premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 22,38 \left(\frac{1}{0,913} - \frac{1}{0,943} \right) \quad (4.9)$$

$$EEA = 5.715,886283 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ *super premium* IR4.

$$VR = 5.715,886283 * 0,49180$$

$$EEA = 2.811,072874 \text{ reais}$$

Mionho faca/ contra faca

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 22,38 \left(\frac{1}{0,86} - \frac{1}{0,930} \right) \quad (4.10)$$

$$EEA = 7.766,402851 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR = 7766,402851 * 0,49180$$

$$VR = 3.819,516922 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 super *premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 22,38 \left(\frac{1}{0,913} - \frac{1}{0,943} \right) \quad (4.11)$$

$$EEA = 9.081,785124 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ super *premium* IR4.

$$VR = 9.081,785124 * 0,49180$$

$$EEA = 4.466,421924 \text{ reais}$$

Centro de usinagem ROMI D 1500

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 22,38 \left(\frac{1}{0,901} - \frac{1}{0,93} \right) \quad (4.12)$$

$$EEA = 3.071,096989 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR = 3.071,096989 * 0,49180$$

$$VR = 1510,365499 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 super *premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 22,38 \left(\frac{1}{0,901} - \frac{1}{0,943} \right) \quad (4.13)$$

$$EEA = 4.386,479262 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ super *premium* IR4.

$$VR = 4.386,479262 * 0,49180$$

$$EEA = 2.157,270501 \text{ reais}$$

MEPI

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 55,95 \left(\frac{1}{0,89} - \frac{1}{0,926} \right) \quad (4.14)$$

$$EEA = 9.690,468852 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR = 9.690,4688521 * 0,49180$$

$$VR = 4.765,772582 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 *super premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 55,95 \left(\frac{1}{0,89} - \frac{1}{0,941} \right) \quad (4.15)$$

$$EEA = 13.509,33056 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ *super premium* IR4.

$$VR = 13.509,33056 * 0,49180$$

$$EEA = 6.643,888769 \text{ reais}$$

Torno

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 55,95 \left(\frac{1}{0,890} - \frac{1}{0,926} \right) \quad (4.16)$$

$$EEA = 6.920,908927 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR = 6.920,908927 * 0,49180$$

$$VR = 3403,70301 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 super *premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 55,95 \left(\frac{1}{0,913} - \frac{1}{0,89} \right) \quad (4.17)$$

$$EEA = 10.739,77063 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ super *premium* IR4.

$$VR = 10.739,77063 * 0,49180$$

$$EEA = 5.281,819198 \text{ reais}$$

Prensa hidraulica FAREX 100 T

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 44,76 \left(\frac{1}{0,895} - \frac{1}{0,921} \right) \quad (4.18)$$

$$EEA = 5.597,884738 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR = 5.597,884738 * 0,49180$$

$$VR = 2.753,039714 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 super *premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 44,76 \left(\frac{1}{0,89,5} - \frac{1}{0,936} \right) \quad (4.19)$$

$$EEA = 8.685,968343 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ super *premium* IR4.

$$VR = 8.685,968343 * 0,49180$$

$$EEA = 4271,759231 \text{ reais}$$

Perfiladeira

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 9,33 \left(\frac{1}{0,83} - \frac{1}{0,910} \right) \quad (4.20)$$

$$EEA = 3.916,179002 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR = 3.916,1790021 * 0,49180$$

$$VR = 1.925,976833 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 *super premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 9,33 \left(\frac{1}{0,83} - \frac{1}{0,931} \right) \quad (4.21)$$

$$EEA = 4.832,653223 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ *super premium* IR4.

$$VR = 4832,653223 * 0,49180$$

$$EEA = 2.376,698855 \text{ reais}$$

Horizontal

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 7,46 \left(\frac{1}{0,83} - \frac{1}{0,904} \right) \quad (4.22)$$

$$EEA = 1.434,6823 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR = 1434,6823 * 0,49180$$

$$VR= 1434,6823 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 super *premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 7,46 \left(\frac{1}{0,83} - \frac{1}{0,927} \right) \quad (4.23)$$

$$EEA = 3.729,030426 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ super *premium* IR4.

$$VR=3.729,030426 * 0,49180$$

$$EEA = 1833,937163 \text{ reais}$$

Aglomerador conv (weg)

Economia em kWh W22 *premium* IR3.

$$EEA = 3660 * 11,19 \left(\frac{1}{0,85} - \frac{1}{0,904} \right) \quad (4.24)$$

$$EEA = 2679,811056 \text{ kWh}$$

Economia em R\$ W22 *premium* IR3.

$$VR= 2679,811056 * 0,49180$$

$$VR= 1.317,931077 \text{ reais}$$

Economia em kWh W22 super *premium* IR4.

$$EEA = 3660 * 11,19 \left(\frac{1}{0,85} - \frac{1}{0,92} \right) \quad (4.25)$$

$$EEA = 3971,591432 \text{ kWh}$$

Economia em kWh R\$ super *premium* IR4.

$$VR=3.971,591432 * 0,49180$$

EEA = 1953,228666 reais

Cálculo do PRI

Mandrilhadora CNC

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{30.012,78 - 3.601,53}{5625,832654}$$

PRI = 4,69 anos

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{34.514,68 - 4.141,76}{7070,461915}$$

PRI= 4,30 anos

Aglomerador CIL e RET.

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{54.083,52 - 6.490,02}{5886,106384}$$

PRI = 8,09 anos

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{62196,06 - 7463,53.141,76}{8599,863843}$$

PRI= 6,36 anos

MEPEIII

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{16634,69 - 1.996,16}{3213,087194}$$

PRI = 4,56 anos

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{18.819,41 - 2.258,33}{4129,221437}$$

$$PRI = 4,01 \text{ anos}$$

Prensa hidraulica FAREX 200 T)

Payback dos motores IR3:

$$TPRI = \frac{12.957,82 - 1.554,94}{2164,167872}$$

$$PRI = 5,27 \text{ anos}$$

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{15.951,60 - 1.914,19}{2811,072874}$$

$$PRI = 4,99 \text{ anos}$$

Mionho faca/ contra faca Cálculo do PRI

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{12.957,82 - 1.554,94}{3819,516922}$$

$$PRI = 2,99 \text{ anos}$$

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{15.951,60 - 1.914,19}{4466,421924}$$

$$PRI = 3,14 \text{ anos}$$

Centro de usinagem ROMI D 1500 Cálculo do PRI

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{12.957,82 - 1.554,94}{1510,365499}$$

$$PRI = 7,55 \text{ anos}$$

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{15.951,60 - 1.914,19}{2157,270501}$$

$$PRI = 6,51 \text{ anos}$$

MEPI) Cálculo do PRI

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{27.000,00 - 3.240,00}{4765,772582}$$

$$PRI = 4,99 \text{ anos}$$

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{35.298,00 - 4.235,76}{6643,888769}$$

$$PRI = 4,68 \text{ anos}$$

Torno Cálculo do PRI

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{27.963,87 - 3.355,66}{3403,70301}$$

$$PRI = 7,23 \text{ anos}$$

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{32.597,52 - 3.911,70}{5281,819198}$$

$$PRI = 5,43 \text{ anos}$$

Prensa hidraulica FAREX 100 T Cálculo do PRI

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{24.125,82 - 2.895,10}{2753,039714}$$

$$PRI = 7,71 \text{ anos}$$

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{27.744,66 - 3.329,36}{4271,759231}$$

$$PRI = 5,72 \text{ anos}$$

Perfiladeira Cálculo do PRI

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{5.215,782 - 625,89}{1925,976833}$$

$$PRI = 2,38 \text{ anos}$$

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{6.143,66 - 737,24}{2376,698855}$$

$$PRI = 2,27 \text{ anos}$$

Horizontal Cálculo do PRI

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{4.642,90 - 557,15}{1434,6823}$$

$$PRI = 2,85 \text{ anos}$$

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{6.021,26 - 722,55}{1833,937163}$$

$$PRI = 2,89 \text{ anos}$$

Aglomerador conv (weg) Cálculo do PRI

Payback dos motores IR3:

$$PRI = \frac{7.429,40 - 891,53}{1317,931077}$$

$$T \text{ PRI} = 4,69 \text{ anos}$$

Payback dos motores IR4:

$$PRI = \frac{9.004,74 - 1.080,57}{1953,228666}$$

$$PRI = 4,30 \text{ anos}$$

Cálculo do custo de operação dos motores

Aglomerador CIL. e RET.

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 89,52 * 0,4918}{0,913} \quad (4.26)$$

$$CO = 1.911.969,73 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 89,52 * 0,4918}{0,942} \quad (4.27)$$

$$CO = 1.853.108,66 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 89,52 * 0,4918}{0,956} \quad (4.28)$$

$$CO = 1.825.971,09 \text{ reais}$$

MEPEIII

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 29,84 * 0,4918}{0,890} \quad (4.29)$$

$$CO = 653.793,39 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 29,84 * 0,4918}{0,936} \quad (4.30)$$

$$CO = 621.662,52 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 29,84 * 0,4918}{0,950} \quad (4.31)$$

$$CO = 612.501,18 \text{ reais}$$

Prensa hidraulica FAREX 200 T

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 22,38 * 0,4918}{0,889} \quad (4.32)$$

$$CO = 490.896,61 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 22,38 * 0,4918}{0,930} \quad (4.33)$$

$$CO = 469.254,94 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 22,38 * 0,4918}{0,943} \quad (4.34)$$

$$CO = 462.785,89 \text{ reais}$$

Mionho faca/ contra faca

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 22,38 * 0,4918}{0,860} \quad (4.35)$$

$$CO = 507.450,11 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 22,38 * 0,4918}{0,930} \quad (4.36)$$

$$CO = 469.254,94 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 22,38 * 0,4918}{0,943} \quad (4.37)$$

$$CO = 462.785,89 \text{ reais}$$

Centro de usinagem ROMI D 1500

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 22,38 * 0,4918}{0,901} \quad (4.38)$$

$$CO = 484.358,59 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 22,38 * 0,4918}{0,930} \quad (4.39)$$

$$CO = 469.254,94 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 22,38 * 0,4918}{0,943} \quad (4.40)$$

$$CO = 462.785,89 \text{ reais}$$

MEPI

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 55,95 * 0,4918}{0,890} \quad (4.41)$$

$$CO = 1.225.862,61 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 55,95 * 0,4918}{0,926} \quad (4.42)$$

$$CO = 1.178.204,89 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 55,95 * 0,4918}{0,941} \quad (4.43)$$

$$CO = 1.159.423,73 \text{ reais}$$

Torno

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 55,95 * 0,4918}{0,900} \quad (4.44)$$

$$CO = 1.212.241,92 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 55,95 * 0,4918}{0,926} \quad (4.45)$$

$$CO = 1.178.204,89 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 55,95 * 0,4918}{0,941} \quad (4.46)$$

$$CO = 1.159.423,73 \text{ reais}$$

Prensa hidraulica FAREX 100 T

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 44,76 * 0,4918}{0,895} \quad (4.47)$$

$$CO = 975.211,38 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 44,76 * 0,4918}{0,921} \quad (4.48)$$

$$CO = 947.680,98 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 44,76 * 0,4918}{0,936} \quad (4.49)$$

$$CO = 932.493,78 \text{ reais}$$

Perfiladeira

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 9,33 * 0,4918}{0,830} \quad (4.50)$$

$$CO = 219.079,86 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 9,33 * 0,4918}{0,91} \quad (4.51)$$

$$CO = 199.820,10 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 9,33 * 0,4918}{0,931} \quad (4.52)$$

$$CO = 195.312,88 \text{ reais}$$

Horizontal

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 7,46 * 0,4918}{0,830} \quad (4.53)$$

$$CO = 175.263,89 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 7,46 * 0,4918}{0,904} \quad (4.54)$$

$$CO = 160.917,07 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 7,46 * 0,4918}{0,927} \quad (4.55)$$

$$CO = 156.924,52 \text{ reais}$$

Aglomerador conv.

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 11,19 * 0,4918}{0,850} \quad (4.56)$$

$$CO = 256.710,05 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR3 premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 11,19 * 0,4918}{0,896} \quad (4.57)$$

$$CO = 243.530,74 \text{ reais}$$

Realizando o cálculo do custo operacional para a motor IR4 super premium temos,

$$CO = \frac{3.965 * 10 * 11,19 * 0,4918}{0,920} \quad (4.58)$$

$$CO = 237.177,77 \text{ reais}$$