



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Clareana Rangel de Oliveira

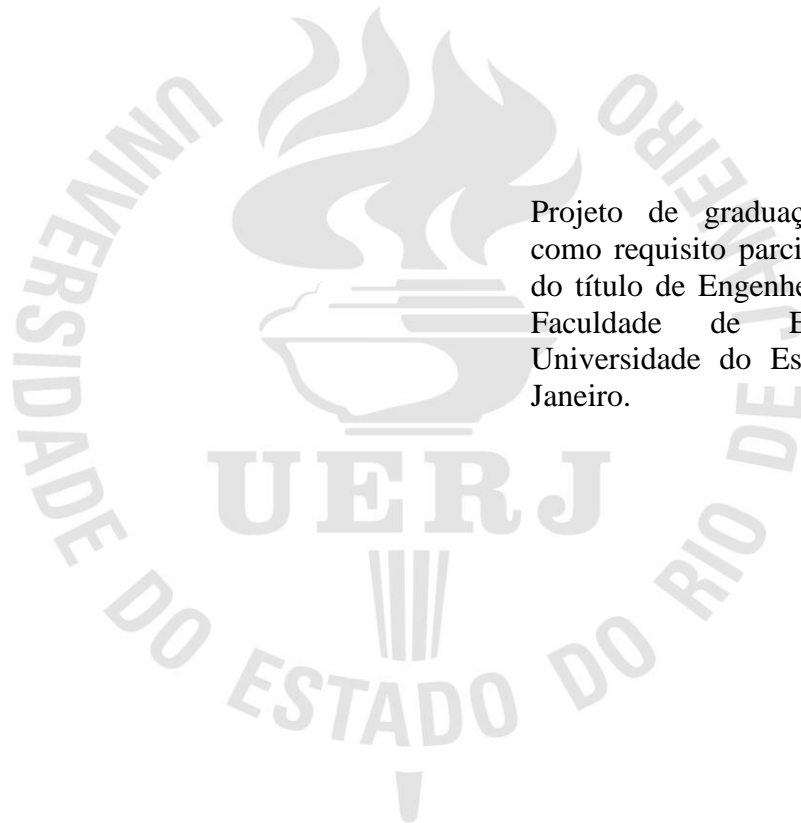
**Análise Energética e Econômica referente a Aquisição ou
Recondicionamento de Motor Elétrico de Indução**

Rio de Janeiro

2018

Clareana Rangel de Oliveira

**Análise Energética e Econômica referente a Aquisição ou Recondicionamento de Motor
Elétrico de Indução**



Projeto de graduação apresentado, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, à Faculdade de Engenharia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. D.Sc. Carlos Aparecido Ferreira

Rio de Janeiro

2018

Ficha Catalográfica elaborada pelo autor através do
Sistema para Geração Automática de Ficha Catalográfica da Rede Sirius - UERJ

048 Oliveira, Clareana Rangel

Análise energética e econômica referente a aquisição ou recondicionamento de motor elétrico de indução / Clareana Rangel Oliveira. - 2018.
54 f.

Orientador: Carlos Aparecido Ferreira
Projeto Final apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

1. Motor Recondicionado - Monografias. 2. Eficiência Energética - Monografias. 3. Motor Premium - Monografias. I. Ferreira, Carlos Aparecido. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Engenharia. III. Título.

CDU 621.3

Clareana Rangel de Oliveira

**Análise Energética e Econômica referente a Aquisição ou Recondicionamento de Motor
Elétrico de Indução**

Projeto de graduação apresentado,
como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheiro Eletricista, à
Faculdade de Engenharia, da
Universidade do Estado do Rio de
Janeiro.

Aprovado em 06 de março de 2018.

Banca Examinadora:

Prof. D.Sc. Carlos Aparecido Ferreira (Orientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. David Martins Vieira
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Roberto Vigoderis
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Otto Wanner Ganvini Asencios
Faculdade de Engenharia – UERJ

Rio de Janeiro

2018

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pois Ele tem sido minha força e torre forte durante toda minha jornada. O grande autor e consumidor da minha fé. A Ele, toda glória!

Agradeço ao meu esposo, Rodrigo Malfacine da Silva, aos meus pais, Rosa Rangel Soares de Oliveira e Paulo Roberto Alves de Oliveira e ao meu irmão, Gabriel Rangel de Oliveira. Vocês foram essenciais em todos os momentos, sempre me acompanhando e me apoiando incondicionalmente. Obrigada por toda palavra de fé e de confirmação. Essa é mais uma conquista que eu tenho a felicidade de dividir com vocês. Vocês são muito especiais!

Agradeço a todos meus parentes e amigos, por sempre me incentivarem e me ajudarem quando necessário.

A Eletrobras, por ter me proporcionado um estágio que tanto acrescentou na minha vida acadêmica e profissional.

Agradeço ao meu professor orientador, Prof. D.Sc. Carlos Aparecido Ferreira, por toda paciência, incentivo e por compartilhar seu conhecimento, mesmo em momentos difíceis. Seu apoio também foi importante para o término. Sou grata pela sua ajuda.

Muito obrigada.

Clareana Rangel de Oliveira

EPIGRAFE

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

RESUMO

OLIVEIRA, Clareana Rangel. *Análise Energética e Econômica referente a Aquisição ou Recondicionamento de Motor Elétrico de Indução*, no Rio de Janeiro. Projeto Final (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

Baseado no relatório da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (EPE, 2018) e o último Balanço de Energia Útil – BEU (MME, 2005), aproximadamente 25% do valor total do consumo de energia elétrica são do uso final Sistemas Motrizes, apenas no setor industrial. Os sistemas motrizes não contemplam apenas motores elétricos, mas também a instalação elétrica (dispositivos e aparelhos para MPCC – Medição, Proteção, Comando e Controle), a transmissão mecânica, as cargas acionadas (bombas, compressores, ventiladores etc), a instalação mecânica e o uso final da energia. Este estudo é focado no motor elétrico, tendo em vista sua relevância no sistema motriz, principalmente motores de indução trifásico gaiola.

Desde 2010, segundo a Portaria Interministerial nº 553 de 2005, apenas motores elétricos com rendimento mínimo da classe IR2 podem ser fabricados, comercializados e importados no Brasil. Em 2017, com a Portaria Interministerial nº 1, de junho de 2017, o rendimento mínimo estabelecido para motores de indução gaiola de esquilo passa a ser a classe IR3 ou *premium*, com data limite de 2 anos após a publicação para a fabricação, comercialização no país ou importação. Nesta portaria, são mencionados, pela primeira vez em seu texto, os motores recondicionados, que também deverão atender os níveis de rendimento propostos, quando comercializados.

O recondicionamento do motor é uma opção para indústria no caso de falha no equipamento que, aparentemente é atrativa economicamente. Em função disto, ocorreu um crescimento no número de estabelecimentos que passaram a realizar este tipo de serviço, sem a mínima estrutura e sem se preocupar em atender níveis mínimos de rendimento, na maioria das vezes.

Como alternativa a prática de recondicionar o motor avariado, têm-se a opção de aquisição de um motor novo, neste caso, o motor *premium*. Neste trabalho, foi realizada uma avaliação energética e econômica da tomada de decisão: recondicionar o motor com defeito ou adquirir um novo motor através de cálculos analíticos e por meio de simulações utilizando-se software BDMotor e planilhas Excel.

Será verificado o tempo de retorno de investimento (*payback* simples e composto) para um motor de indução trifásico de 50 cv, 4 polos, com 6000 horas de operação, a ser recondicionado e um motor *premium*. Também será determinado o *payback* simples e composto para os motores com potências comerciais até 500 cv, 4 polos, para diferentes cenários de operação (2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 horas).

Através dos cálculos e das simulações gerais, possibilitou-se elaborar as principais conclusões e hipóteses sobre qual seria a melhor decisão a ser tomada. Ressalta-se que este resultado é proveniente do cenário apresentado na simulação, porém dependendo de variáveis como: tarifa de energia elétrica, número de horas de operação, diferença entre rendimentos, potência da carga, preço do serviço de recondicionamento e do motor novo e taxa de juros, este resultado pode ser alterado.

Palavras-Chave: Motor Recondicionado. Eficiência Energética. Motor *Premium*.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Clareana Rangel. *Energy and Economic Analysis for the Acquisition or Reconditioning of Electric Induction Motor*, no Rio de Janeiro. Projeto Final (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Based on the report of the Energy Research Company (EPE, 2018) and the latest Balance of Useful Energy (BEU), approximately 25% of the total electricity consumptions the end-use of Motor Driven Systems, only in the industrial sector. The Motor Driven Systems do not only include electric motors, but also the electrical installation (devices for MPCC Measurement, Protection, Command and Control), the mechanical transmission, the driven loads (pumps, compressors, fans, etc.), the mechanical installation and the end use. This study is focused on the electric motor, considering its relevance in the motor system, mainly three phase squirrel-cage motors.

Since 2010, according to Interministerial Ordinance N°. 553 of 2005, only electric motors with minimum IR2 class of efficiency can be manufactured, marketed and imported in Brazil. In 2017, with interministerial ordinance N°. 1, of June 2017, the minimum efficiency established for three phase squirrel-cage motors becomes class IR3 or premium, with a deadline of 2 years after publication for the manufacture, marketing in the country or import. In this ordinance, is mentioned, for the first time in its text, the reconditioned motors, which also must have the proposed efficiency levels, when marketed.

The motor reconditioning is an option for the industry in the event of failure of any equipment apparently that is economically attractive. As a result, there was an increase in the number of establishments that started to execute this type of service, without the basic structure and without worrying about minimum levels of efficiency, most of the time.

As an alternative to the practice of reconditioning the damaged engine, is the option of buying a new motor, in this case, the premium motor. In this work, an energy and economic evaluation of the decision making will be performed: reconditioning the defective motor or acquiring a new motor through analytical calculations and simulations using the BDMotor software and Excel spreadsheets.

The investment payback time (simple and compound payback) will be checked for a 50 cv, 4-pole, three-phase induction motor with 6000 operating hours, to reconditioned motor and a premium motor. The simple and compound payback was also determined for motors with commercial power up to 500 cv, 4 poles, for different operating scenarios (2,000, 4,000, 6,000 and 8,000 hours).

Through the calculations and the general simulations, it was possible to elaborate the main conclusions and hypotheses about which would be the best decision to be made. It should be noted that this result comes from the scenario presented in the simulation, but depending on variables such as: electric energy tariff, number of hours of operation, difference between efficiencies, load power, reconditioning service's price and new motor's prices and interest rate, this result can be changed.

Keywords: Reconditionated Motor, Energy Efficiency, Premium Motor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Participações Setoriais no Consumo de Energia Elétrica no Brasil em 2017	19
Figura 02 – Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Industrial.....	20
Figura 03 – Rendimentos dos Componentes do Sistema Motriz	21
Figura 04 – Classificação dos Motores Elétricos	23
Figura 05 –Modelo Monofásico Equivalente de um Motor de Indução em Regime Permanente	26
Figura 06 – Programa BDMotor.....	38
Figura 07 –Banco de Dados do Programa BDMotor	39
Figura 08 – Opção “Comparar” do Programa BDMotor.....	40
Figura 09 –Cadastro ou Editor das Informações dos Motores	41
Figura 10 – Seleção dos Motores Cadastrados.....	44
Figura 11 – Dados de Entrada e de Saída para Simulação	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Curva Típica Conjugado x Rotação ($\omega \times \tau$) / Motor de Indução Trifásico	25
Gráfico 02 – Rendimento Nominal para Motores Padrão (IR1), de Alto Rendimento (IR2) e <i>Premium</i> (IR3), 4 Polos	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Participação de Sistemas Motrizes* no Consumo de Energia Elétrica Brasileiro de Acordo com BEU 2005	20
Tabela 02 – Tabela de Capacidade de Resistência a Temperaturas	30
Tabela 03 – Tempo de Retorno do Investimento (<i>Payback</i> Simples em Anos) para Compra do Motor <i>Premium</i> (IR3) ao invés do Recondicionamento de um Motor Queimado (com uma vida média de 17 anos) de 4 Polos para Carga Nominal (Tarifa Considerada de R\$ 0,550/kWh)	46
Tabela 04 – Tempo de Retorno do Investimento (<i>Payback</i> Composto em Anos) para Compra do Motor <i>Premium</i> (IR3) ao invés do Recondicionamento de um Motor Queimado (com uma vida média de 17 anos) de 4 Polos para Carga Nominal (Tarifa Considerada de R\$ 0,550/kWh e Taxa de Juros de 6,75%)	47
Tabela 05 – Tabela do Catálogo do Motor W22 IR3, 50 cv	54
Tabela 06 - Tabela do Catálogo do Motor W22 IR2, 50 cv	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01	24
Equação 02	25
Equação 03	31
Equação 04	32
Equação 05	35
Equação 06	35
Equação 07	36
Equação 08	36
Equação 09	36
Equação 10	37
Equação 11	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Considerações iniciais	16
1.2	Motivação	16
1.3	Objetivos	17
1.4	Metodologia	17
1.5	Estrutura do trabalho	18
2	RECONDICIONAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS	19
2.1	Sistemas Motrizes e Motores Elétricos	19
2.1.1	<u>Introdução</u>	19
2.1.2	<u>Classificação de Motores Elétricos</u>	22
2.1.3	<u>Motores Elétricos de Indução</u>	24
2.1.3.1	Princípios de Funcionamento e Modelo	24
2.1.3.2	Aspectos Construtivos	26
2.2	Motores Elétricos Recondicionados	27
2.2.1	<u>Introdução</u>	27
2.2.2	<u>Procedimentos Técnicos</u>	29
2.3	Motores Elétricos <i>Premi</i>	30
3	ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÔMICA	35
3.1	Análise Energética	35
3.2	Análise Econômica	36
3.3	BDMotor	38
4	RESULTADOS	42
4.1	Caso Inicial	42
4.2	Caso Inicial via BDMotor	44
4.3	Resultados Gerais	45
5	CONCLUSÃO	48
5.1	Tópicos para trabalhos futuros	50
	REFERÊNCIAS	51
	BIBLIOGRAFIA	53
	ANEXOS	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Como base em relatório da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (EPE, 2018) e o último Balanço de Energia Útil – BEU (MME, 2005), cerca de 25% (apenas no setor industrial) do valor total do consumo de energia elétrica são do uso final Sistemas Motrizes. Sistemas motrizes englobam a instalação elétrica (dispositivos e aparelhos para MPCC – Medição, Proteção, Comando e Controle); o motor elétrico; a transmissão mecânica, as cargas acionadas (bombas, compressores, ventiladores etc); a instalação mecânica; e o uso final da energia segundo (FERREIRA, 2016). Este trabalho será focado no motor elétrico, em especial motores de indução trifásico gaiola.

Desde 2010, com base na portaria interministerial nº 553 de 2005, apenas motores elétricos com rendimentos mínimos da classe IR2 (alto rendimento) podem ser fabricados, comercializados e importados no Brasil. Logo, todos os motores com rendimentos abaixo dos estabelecidos, como por exemplo os motores da classe IR1 (padrão), foram retirados do mercado ofertante destes equipamentos. Possuindo um plano de meta para o aumento da eficiência, buscando a diminuição do consumo.

Em junho de 2017 foi publicada a Portaria Interministerial Nº1, buscando evoluir com o plano de metas para os motores de Indução Gaiola de Esquilo, estabelecendo novos níveis mínimos de eficiência energética a serem atendidos, equiparando-se aos valores dos rendimentos de motores da classe IR3 ou *premium*.

Nesta portaria de uma maneira geral, está previsto que a data limite para fabricação e comercialização no País ou importação dos motores que não atendam a regulamentação será de dois anos, a contar da data da publicação. Além disso, pela primeira vez em seu texto de forma objetiva, são citados os motores reconicionados, que também deverão atender aos níveis mínimos de rendimento da classe IR3, se comercializados.

1.2 Motivação

Diante da citada regulação, o tema reconicionamento de motores elétricos finalmente obteve a relevância, já obtida em vários países desenvolvidos. A principal motivação deste

trabalho é uma avaliação energética e econômica da tomada de decisão: recondicionar ou adquirir um novo motor após defeito no motor em uso.

1.3 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é analisar energeticamente e economicamente as opções após falhas do motor elétrico: comprar um motor *premium* ou recondicionar o motor com defeito.

Portanto, serão calculados a partir dos diferentes rendimentos e preços, a economia de energia anual, a economia financeira anual e o *payback* (simples e composto), buscando a opção mais viável.

Será analisado também como o recondicionamento pode afetar o rendimento e de que maneira o projeto do motor *premium* beneficia o aumento do rendimento do motor.

1.4 Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho consiste na comparação entre os dois motores elétricos trifásicos, com patamares de rendimento diferentes, e como essa diferença pode interferir economicamente a decisão do empresário. Assim, o estudo verifica qual é a melhor opção se o motor em operação queimar: recondicioná-lo ou comprar um novo, com maior eficiência.

Inicialmente são apresentados os cálculos analíticos e, posteriormente, utilizou-se o software BDMotor para sistematizar a metodologia e confirmar os resultados, principalmente nos cálculos de Tempo de Retorno de Investimento (TRI) simples, planilhas Excel também auxiliaram os cálculos de TRI simples e composto. Estas ferramentas foram bastante úteis para confirmar o cálculo teórico e na criação de tabelas mais gerais apresentadas no Capítulo 4.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao tema abordado, citando a Portaria Interministerial nº1, de 2017, que em seu texto sobre motores elétricos trifásicos, estabelece novos níveis de rendimentos obrigatórios, até mesmo para motores reconicionados. Este capítulo apresenta também a motivação para a execução deste projeto, seus objetivos e metodologia adotada.

No segundo capítulo apresenta-se um breve panorama sobre a teoria de motores elétricos: os tipos, modelos, funcionamento e aspectos construtivos. Aborda-se também sobre os motores reconicionados e os motores IR3 ou *premium*, com maior rendimento, sendo uma opção comparado ao reconicionamento. Neste capítulo também é apresentado o conceito de sistemas motrizes.

O terceiro capítulo engloba todos os conceitos e expressões utilizadas para fazer uma análise energética e econômica para a tomada de decisão entre a aquisição do motor *premium* ou reconicionar o motor avariado. Além disso, apresenta-se o programa computacional BDMotor que é utilizado no trabalho, indicando as principais ferramentas usadas nas simulações.

No quarto capítulo são apresentados os resultados, ou seja, os cálculos e as simulações realizadas para obter as análises citadas anteriormente, onde é definida a opção mais viável, neste estudo.

O quinto capítulo apresenta a conclusão do trabalho face as simulações feitas, seguido de algumas sugestões de estudos futuros.

2 RECONDICIONAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS

Inicia-se este capítulo definindo o conceito de sistemas motrizes. Em seguida será apresentada uma breve teoria sobre motores elétricos, dando ênfase aos motores elétricos de indução. Posteriormente, apresenta-se as características dos motores reconicionados e resumo da teoria necessária para este assunto. Finalmente, será apresentado o motor *premium*, novo patamar para os motores elétricos brasileiros.

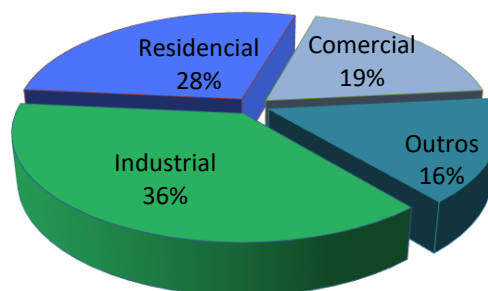
2.1 Sistemas Motrizes e Motores Elétricos

2.1.1 Introdução

Para uma análise do consumo de energia elétrica no Brasil, utiliza-se como ponto de partida a Figura 01 (EPE, 2018), que traz como informação a participação dos diversos setores no consumo, evidenciando que o setor industrial apresenta o maior percentual.

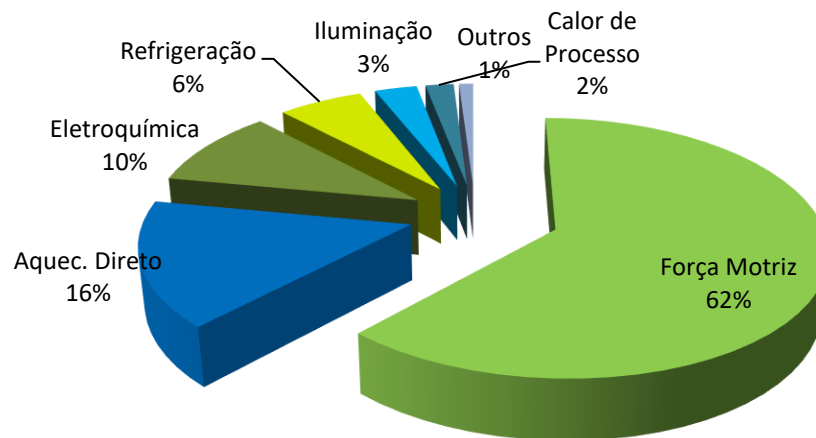
Avaliando o setor industrial, de acordo com (MME, 2005), estratifica-se o consumo de energia elétrica deste segmento por uso final, de acordo com a Figura 02, e verifica-se que o maior consumo no setor industrial advém dos sistemas motrizes, totalizando um valor de cerca de 25% (apenas no setor industrial) do valor total do consumo no Brasil.

Figura 01 – Participações Setoriais no Consumo de Energia Elétrica no Brasil em 2017



Fonte: EPE, 2018.

Figura 02 – Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Industrial



Fonte: BEU/MME, 2005

Porém, de acordo com (FERREIRA, 2016), a participação dos Sistemas Motrizes não se limita apenas ao setor industrial, mas distribuem-se nos diversos setores da economia, conforme apresentado na Tabela 01. Assim, 58% do consumo de energia elétrica no Brasil se refere aos sistemas motrizes.

Tabela 01 – Participação de Sistemas Motrizes* no Consumo de Energia Elétrica Brasileiro de Acordo com BEU 2005

Industrial	Comercial	Residencial	Público	Transporte	Agropecuário	Setor Energético	Brasil
68%	48%	35%	46%	100%	95%	93%	58%

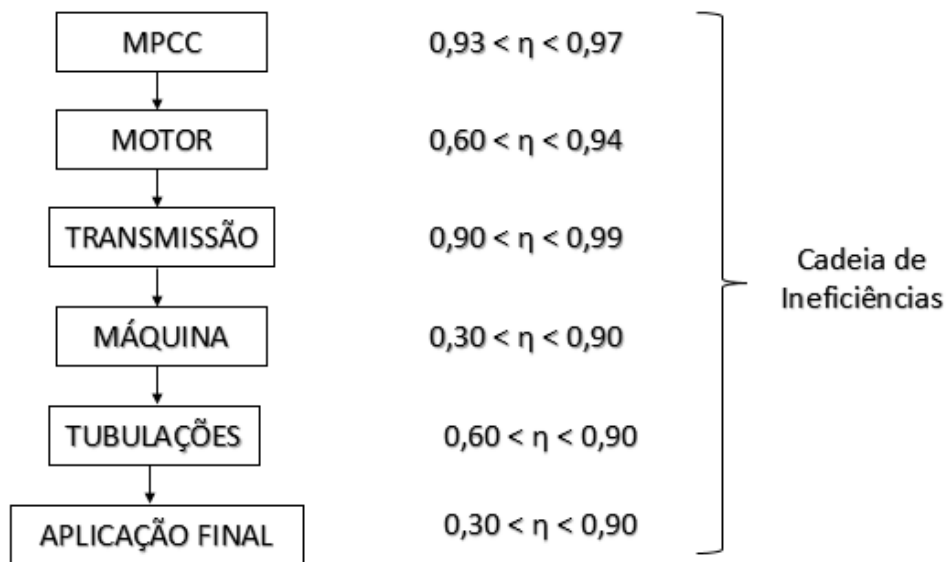
(*) Incluindo refrigeração e ar condicionado

Fonte: FERREIRA, 2016, p. 17.

Ao se referir a Sistema Motriz, segundo (FERREIRA, 2016), temos o motor elétrico como parte deste sistema e não como único elemento. O motor tem como função converter a energia elétrica em energia mecânica com baixas perdas, quando opera em condições

nominais e é especificado e operado corretamente, passando por manutenções recomendadas (condições frequentemente não observadas na prática). Sendo assim, o real consumo de um motor elétrico refere-se “apenas” às suas perdas internas: no cobre, no núcleo, mecânicas e suplementares. O Sistema Motriz também abrange a instalação elétrica (dispositivos e aparelhos para MPCC – Medição, Proteção, Comando e Controle), a transmissão mecânica, as cargas acionadas (bombas, compressores, ventiladores etc.), a instalação mecânica e o uso final da energia mecânica. Tendo cada elemento seu próprio rendimento, como pode ser visto na conforme a Figura 03.

Figura 03 – Rendimentos dos Componentes do Sistema Motriz



Fonte: FERREIRA, 2016, p. 18.

Cabe destacar que existem sistemas motrizes elétricos (acionados por motores elétricos) e sistemas motrizes térmicos (acionados por turbinas a vapor e motores de combustão interna). Este trabalho é focado em sistemas motrizes elétricos.

A partir da definição de sistema motriz, destaca-se a importância de se trabalhar com o motor elétrico, mas não somente com ele. É recomendável analisar todo sistema e efetuar análise global antes de qualquer eventual substituição do motor ou outro elemento, para que sejam obtidos os ganhos no rendimento em todo o sistema.

Outro ponto a ser analisado quando se trata de motores elétricos é a utilização de motores sobredimensionados e/ou antigos, muitos dos quais já reconicionados várias vezes. A idade média dos motores elétricos brasileiros, de acordo com a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAM, 2011) é de 17 anos. Esses fatores contribuem na perda rendimento e na defasagem do patamar de eficiência ao comparar com um motor novo existente hoje no mercado. Conforme apresentado em (FERREIRA, 2016), o custo de operação dos motores elétricos médios é superior ao de um motor elétrico novo.

2.1.2 Classificação de Motores Elétricos

A partir da Figura 04, observa-se a subdivisão entre motores de corrente contínua e motores de corrente alternada.

Os motores de corrente contínua são classificados de acordo com a forma de excitação, distinguindo nos diferentes modos de ligar os enrolamentos do rotor e estator. Estes motores têm como vantagem o fácil controle de velocidade, dada através de variação da tensão na armadura ou no campo e o alto conjugado em baixas rotações, para motores série. Como desvantagem, eles são maiores e mais complexos (mais caros), possuindo uma relação maior peso/potência e requerem uma maior necessidade de manutenção.

Já o motor de corrente alternada é dividido, basicamente, em dois grandes grupos: monofásicos e trifásicos, podendo ser: síncronos ou assíncronos.

Os motores monofásicos possuem um campo magnético pulsante (por serem alimentados por apenas uma fase). Por este motivo, estes motores necessitam de alguns mecanismos para partir. Com isso, os diferentes tipos de motores monofásicos distinguem-se em função dos diversos mecanismos de partida. Estes motores podem ser uma alternativa para locais onde não se dispõe de alimentação trifásica.

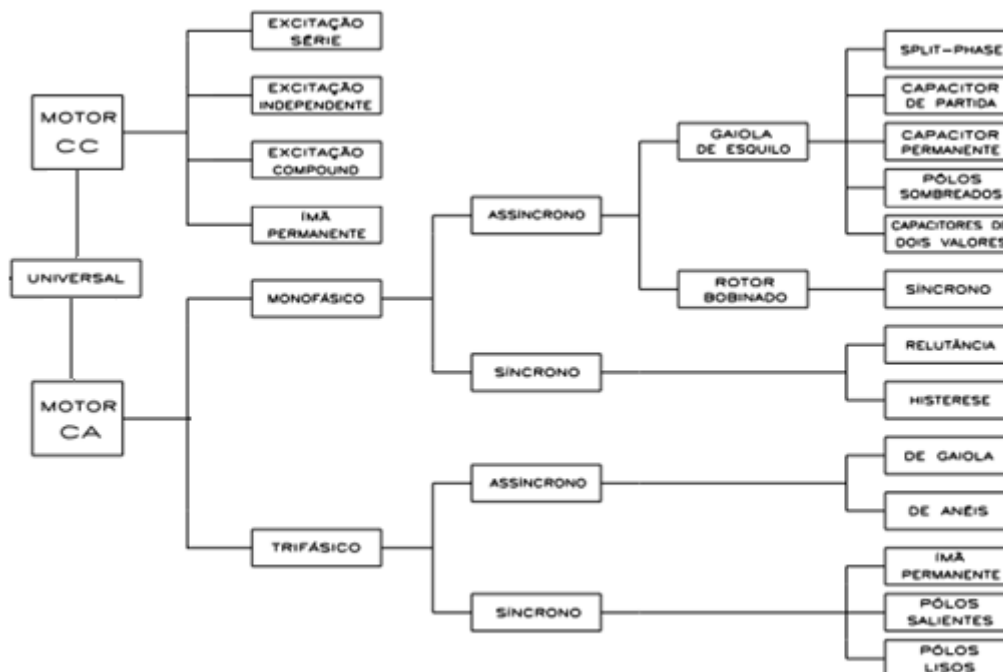
Os motores trifásicos são os mais utilizados, tanto em função de sua vida útil longa e facilidade na ligação quanto pelo fato que sua potência instantânea e seu torque são constantes.

Os motores monofásicos e trifásicos podem ser síncronos ou assíncronos. O motor síncrono é caracterizado por possuir velocidade nominal fixa, a mesma do campo girante. Por

outro lado, o motor assíncrono (ou de indução) funciona com uma velocidade variável e um pouco abaixo da rotação do campo girante, ocorrendo uma diferença relativa entre as velocidades, conhecida como escorregamento, abordado na Seção 2.1.3.1.

Uma das desvantagens que o motor de corrente alternada tem, com relação ao motor de corrente contínua, é a respeito do controle da velocidade. Porém com o advento do controle eletrônico de velocidade, este passa a não ser mais um problema na sua operação. Cabendo, por outro lado, destacar os efeitos colaterais negativos (elétricos e mecânicos) deste controle eletrônico.

Figura 04 – Classificação dos Motores Elétricos



Nota: A figura sofreu alteração. A classe de motores universais, na versão original, estava ligada apenas ao grupo de motores CA. Porém, na figura atual, é notório verificar que esta classe pertence aos grupos de motores CA e CC.

Fonte: WEG, 2015, p. 19.

Os motores universais são caracterizados por funcionar tanto em corrente alternada quanto em contínua. Neste tipo de motor, o enrolamento do rotor é ligado as escovas através de um coletor.

Conhecendo os grupos de motores elétricos, para uma ênfase maior no nosso estudo, utilizamos como justificativa a informação apresentada em (FILIPPO FILHO, 2013) que nos informa que o motor de indução corresponde por mais de 95% comparando com o total de motores instalados nos setores industrial, rural, comercial e residencial. Além disto, corresponde a aproximadamente 75% da potência instalada do universo de todos os motores. Devido a isso, nosso estudo nas próximas seções deste capítulo será para Motores de Indução.

2.1.3 Motores Elétricos de Indução

2.1.3.1 Princípios de Funcionamento e Modelo

O princípio de funcionamento de qualquer motor elétrico é baseado na interação entre campos magnéticos (do rotor e do estator), tendo como resultante um torque, que produz a rotação do seu eixo. No caso do motor de indução, seu funcionamento é similar a de um transformador. O campo do rotor (ou do secundário) é induzido por meio da uma única fonte de alimentação, que é ligada ao estator.

No momento em que o enrolamento do estator é energizado por uma tensão alternada, cria-se o campo girante. A medida em que esse campo corta os condutores do rotor, uma *f.e.m.* (força eletromotriz) é induzida, ocasionando circulação de corrente. Essa corrente também gera um campo magnético que interage com o campo do estator, produzindo um torque magnético que resulta na rotação do rotor. Porém, para que haja indução e, conseqüentemente, conjugado, a velocidade do rotor deve ser diferente da velocidade do campo do estator ou rotação síncrona.

A rotação síncrona é dada por:

$$W_s = \frac{120f}{p} \quad (01)$$

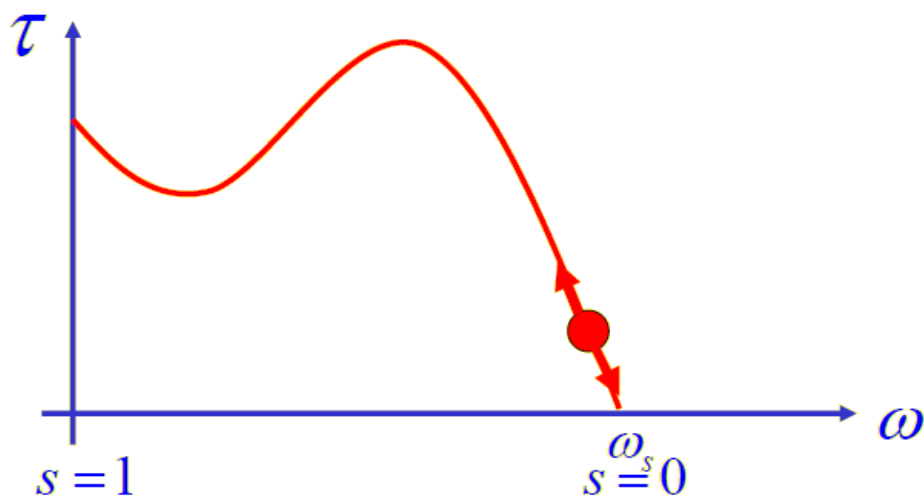
Como mencionado, na operação do motor de indução, sua rotação W é ligeiramente inferior à rotação síncrona, para que haja indução. Podemos, então, definir o escorregamento como diferença percentual entre a rotação síncrona e de operação do motor:

$$s = \frac{W_s - W}{W_s} \quad (02)$$

Constata-se pela curva típica do conjugado x rotação de um motor de indução trifásico qualquer, apresentada no Gráfico 01, que antes da partida do motor seu escorregamento é igual a 1, devido à rotação de operação (do rotor) ser igual a 0. Já no caso desta rotação ser igual à rotação síncrona, o escorregamento seria igual 0. Essa hipótese é somente teórica. Se rotor conseguisse alcançar a velocidade síncrona, a velocidade relativa entre eles seria nula e não haveria variação relativa, não havendo indução.

Na prática, o escorregamento, em média tem uma variação entre 2% a 5%, dependendo do carregamento. Com o aumento de carga, o escorregamento tende a aumentar também. Entretanto com a diminuição da carga, haverá redução do escorregamento.

Gráfico 01 –Curva Típica Conjugado x Rotação ($\omega \times \tau$) / Motor de Indução Trifásico

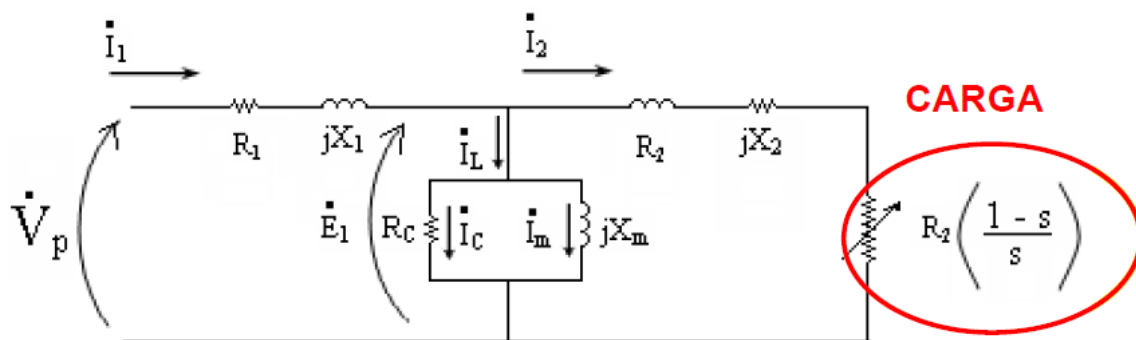


Fonte: FERREIRA, 2015, p. 9.

Como os princípios de funcionamento são similares, a modelagem de um motor de indução, em regime permanente, é semelhante a de um transformador. Apresenta-se no Gráfico 01, o modelo monofásico equivalente do motor de indução em regime permanente (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2006). A carga mecânica é modelada como um resistor com resistência variável em função do escorregamento.

No momento em que $\omega=0$, com o motor energizado e antes da partida, o escorregamento é igual a 1. Neste caso, eletricamente, haverá um curto-circuito, e por conseguinte uma alta corrente de partida (desvantagem deste tipo de motor). Esta configuração, mecanicamente, é conhecida como corrente de rotor bloqueado. Contudo, quando o escorregamento hipoteticamente é igual a zero (motor operando com rotação síncrona), a resistência tenderá a um valor infinito. Como mencionado anteriormente, todavia, o motor de indução jamais opera na rotação síncrona.

Figura 05 – Modelo Monofásico Equivalente de um Motor de Indução em Regime Permanente



Fonte: FERREIRA, 2015, p. 10.

Os motores de indução podem ser subdivididos em: Rotor Bobinado e Rotor Gaiola de Esquilo. Este é o mais utilizado, devido a sua construção simplificada, com barras curto-circuitadas num rotor similar a uma gaiola de esquilo.

2.1.3.2 Aspectos Construtivos

Este trabalho é focado no Motor de Indução Trifásico Gaiola, e este é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor, segundo (WEG, 2016):

O estator é a parte estacionária do motor e é formado pela carcaça, pelo núcleo e enrolamento. A carcaça é a estrutura de suporte do conjunto e protege a para estatórica e rotórica do motor. O núcleo do estator é constituído por um empacotamento de chapas de material magnético com baixa densidade de perdas magnéticas (condutor magnético). No núcleo encontra-se alocado, através de ranhuras, o enrolamento trifásico (condutor elétrico)

que é formado por três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, defasadas fisicamente de 120°, ligada a rede elétrica.

O rotor é a parte girante do motor e é constituído pelo eixo, núcleo e pela gaiola. O eixo é a parte mecânica onde ocorre a rotação e o local onde são montados o conjunto do rotor, esses são apoiados em mancais. O núcleo é composto por material magnético, semelhante ao do estator (condutor magnético), o qual são inseridas barras de cobre ou alumínio, dispostas paralelamente entre si e unidas nas suas extremidades. A gaiola possui anéis metálicos na tampa e na base, de tal modo a curto-circuitar as barras e permitir a circulação de correntes por elas (condutor elétrico).

2.2 Motores Elétricos Recondicionados

2.2.1 Introdução

Verificando a importância e a influência que o motor elétrico tem nos sistemas motrizes elétricos, averigua-se que as múltiplas ou repetidas falhas deste componente, podem afetar negativamente uma indústria, reduzindo a sua produção e em consequência sua competitividade, tanto a médio quanto a longo prazo.

Inevitavelmente o motor elétrico (com uma média de vida útil acima de 15 anos) poderá apresentar alguma falha. Sendo necessário optar por uma das soluções, de modo a minimizar o prejuízo no funcionamento da planta industrial: a compra de um novo motor, o recondicionamento do motor com defeito ou a compra de um motor recondicionado.

Os casos apresentados no Capítulo 4 terão duas alternativas: comprar um motor novo (com maior patamar de rendimento) ou recondicionar o motor com defeito, tendo em vista que a contratação do serviço de recondicionamento costuma ser mais atrativa e correta, sob o ponto de vista da regulação brasileira, que a compra de um motor recondicionado.

O motor com uma idade avançada, tende a ter uma perda natural de sua eficiência no decorrer do tempo. Porém, algumas indústrias adquirirão equipamentos recondicionados (conhecido popularmente como de “segunda mão”) ou solicitam o recondicionamento dos motores antigos. A prática de recondicionar motores antigos é comum no setor industrial.

Em função de grande procura, o mercado de motores reconicionados aumentou resultando no crescimento do número de estabelecimentos que passaram a realizar estes serviços ou esta venda, sem a mínima condição de funcionamento, na maioria das vezes.

Pela pesquisa realizada pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) em 2014, estima-se que há 1.837 estabelecimentos que comercializam motores reconicionados. Cada um destes estabelecimentos vendem, em média, 83 motores reconicionados por mês, registrando um total de 1,83 milhões de motores vendidos no ano. Essa quantidade equivalente a 65% das vendas de motores elétricos totais no Brasil, de acordo com (ASSESSORIA PUC-RIO, 2014).

Algumas empresas adquirem motores antigos, com mais de 20 anos, considerados muitas vezes como sucata, reformam e os fazem voltar ao mercado, o que não deveria ocorrer por não atender os níveis mínimos de eficiência, previstos na regulamentação.

Quanto ao reconicionamento do motor queimado, não são empregadas técnicas adequadas de forma que o motor obtenha o mínimo de perda de sua eficiência após o seu conserto, fazendo com que diminua o rendimento deste motor, isto é, este operará com um gasto energético excessivo, podendo ter um consumo maior do que em sua condição nominal.

Vale destacar que o reconicionamento utilizando os métodos adequados, principalmente em motores relativamente novos (que devem estar em até seu segundo reconicionamento), pode não contribuir em uma perda substancial do rendimento. Para chegar a esta conclusão, foi realizada uma pesquisa pela EASA e AEMT, sobre motores rebobinados e reconicionados (EASA; AEMT, 2013).

De acordo com a pesquisa mercadológica sobre motores reconicionados, realizada pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) em 2014, analisando o mercado brasileiro, constatou-se que “a prática de reconicionamento de motores é responsável por uma perda de energia de, no mínimo, 7,1 TWh/ano, o equivalente ao que a usina nuclear de Angra 2 ou a hidrelétrica de Porto Primavera produz em um ano” (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015, p. 2)

À primeira vista, o preço do reconicionamento do motor é mais acessível e menor que a aquisição de um novo, cerca de 25% do preço (valor obtido através de pesquisas de preços). E com isso o consumidor parece estar fazendo um bom negócio, não levando em consideração os quesitos de vida útil, baixo rendimento e confiabilidade que poderão provocar

um aumento no custo de operação, tornando-o uma opção desvantajosa. No Capítulo 4, serão apresentados casos comparando a opção recondicionar à aquisição de novo motor.

2.2.2 Procedimentos Técnicos

Neste tópico, serão descritos alguns procedimentos que devem ser implementados no procedimento de recondicionamento de motores elétricos trifásicos, de modo a aumentar minimamente as perdas neste equipamento.

A inspeção preliminar é extremamente importante e tem como objetivo ajudar a entender o motivo e localização do defeito do motor, quando possível, e obter informações a respeito do motor elétrico (fabricante, potência, rendimento comercial, etc). Nessa inspeção, pode ser que através de uma avaliação, o motor avariado seja condenado e não seja possível recuperá-lo.

As peças a serem utilizadas neste reparo devem ser originais, para manter o máximo das características nominais do equipamento. Não se deve reutilizar peças danificadas ou desgastadas.

Antes de remover o cobre, é necessário fazer o levantamento de dados da máquina, anotando todas as informações pertinentes a montagem.

Para remover os enrolamentos, se utilizarmos somente força física/mecânica, seria necessária uma força excessiva que poderia danificar as laminagens e também o núcleo do motor. Com intuito de facilitar este processo e utilizar o mínimo de força mecânica, usa-se o processo de aquecimento a uma temperatura controlado. Devido a isso, condena-se o uso de maçarico, pois com essa ferramenta não é possível controlar a temperatura, segundo (EASA; AEMT, 2003).

No processo de preparação de novas bobinas, a melhor maneira de manter a eficiência do motor é copiar o enrolamento original, de acordo com informações do fabricante. E após a devida instalação dos enrolamentos, deve-se realizar teste de resistência do enrolamento e teste de equilíbrio de fase, para verificar o equilíbrio entre as 3 bobinas, já que estas precisam ser idênticas.

No teste de resistência, mede-se os enrolamentos, e certifica-se se os valores encontrados são próximos do esperado, de acordo com fabricantes, e que possuam uma

diferença de até 5% entre si, de acordo com (EASA; AEMT, 2003). O teste de equilíbrio de fase garante que as três fases sejam enroladas e conectadas da mesma forma, aplicando pulsos de voltagem idênticos simultaneamente nos enrolamentos. Verifica-se através de um osciloscópio ligado aos três enrolamentos, se as três curvas ($v(t)$), após o pulso de tensão, se comportam de maneira idêntica. Se afirmativo, garante-se assim que estes enrolamentos são iguais.

Também se realiza o teste de Hipot, que verifica a qualidade da isolação do enrolamento através da aplicação de alta tensão.

Quanto ao tipo de verniz utilizado, deve-se atentar nas classes compatíveis com a potência e classe de temperatura do motor, de acordo com a Tabela 2.2.

A impregnação do verniz é feita a vácuo, com o intuito de retirar o ar e impregná-lo nas bobinas do estator e na secagem, usa-se a estufa (com temperatura controlada) para retirar a umidade do motor, conforme (EASA; AEMT, 2003).

Tabela 02 – Tabela de Capacidade de Resistência a Temperaturas

Classe de Isolação	Temperatura Máxima Permitida (IEC 60034-1;1998)		Temperatura Máxima Permitida (NEMA MG1-12.43)	
	°C	°F	°C	°F
A	105°C	221°F	105°C	221°F
E	120°C	248°F		
B	130°C	266°F	130°C	266°F
F	155°C	311°F	155°C	311°F
H	180°C	356°F	180°C	356°F
C	>180°C	356°F		

Fonte: EASA; AEMT, 2003, p. 49.

A cada etapa do processo de recuperação do motor, será necessário realizar testes que meçam as mais diversas características do motor, e comprovem a eficácia do condicionamento. Verifica-se vibração do eixo, amperagem, quantidade de pontos quentes etc.

2.3 Motores Elétricos *Premium*

Motores elétricos de indução *premium*, também conhecido como motores da classe IR3, são motores que possuem um projeto mais elaborado e utilizam materiais e um processo mais sofisticado de forma a minimizar as perdas, comparadas aos motores das duas outras classes -IR2 e IR3. Por conseguinte, o motor *premium* terá um maior rendimento. Com isso, estes motores apresentam um menor consumo de energia elétrica da rede. Estes motores apresentam as seguintes características:

- Chapas magnéticas de melhor qualidade;
 - Maior volume de material condutor;
 - Rotores tratados termicamente, reduzindo perdas rotóricas;
 - Altos fatores de enchimento das ranhuras, que provêm melhor dissipação do calor gerado;
 - Projeto das ranhuras otimizado para incrementar o rendimento;
 - Tampas traseiras e dianteiras com fluxo de ar otimizado;
 - Anéis de fixação dos mancais com superfície aletada para melhorar a dissipação do calor dos mancais;
 - Alojamento do rolamento projetado para fora, para melhor dissipação do calor;
 - Sistema de ventilação mais eficiente (ex.: tampa defletora do sistema de ventilação com conceito aerodinâmico e com melhor distribuição do fluxo de ar);
 - Projeto da carcaça com redução da dispersão do fluxo de ar, contribuindo para o aumento da troca térmica entre o motor e o ambiente, resultando, ainda, na redução de pontos quentes na superfície e no aumento do intervalo de lubrificação dos enrolamentos.
- (FERREIRA, 2016, p. 29)

O rendimento de qualquer equipamento, é determinado a partir da relação entre as potências de saída e de entrada, conforme Equação 03. No caso do motor elétrico, a potência de entrada é a potência elétrica solicitada da rede (função das correntes e tensões medidas na entrada) e a potência de saída é a potência mecânica (determinada em função do seu conjugado no eixo e velocidade de rotação).

$$\eta (\%) = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \quad (03)$$

De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, a potência de saída também pode ser calculada em função da potência de entrada e perdas do motor, conforme Equação 04:

$$P_{saída} = P_{entrada} - Perdas \quad (04)$$

Essas perdas podem ser caracterizadas principalmente por: perdas nos núcleos, perdas mecânicas, perdas por efeito joule no estator, perdas por efeito joule no rotor e perdas suplementares.

As perdas no núcleo, também conhecidas como perda no ferro, são perdas que devido ao fenômeno de histerese e correntes induzidas nas chapas magnéticas do núcleo do rotor e estator também conhecidas como correntes parasitas. São responsáveis entre 15% a 25% das perdas.

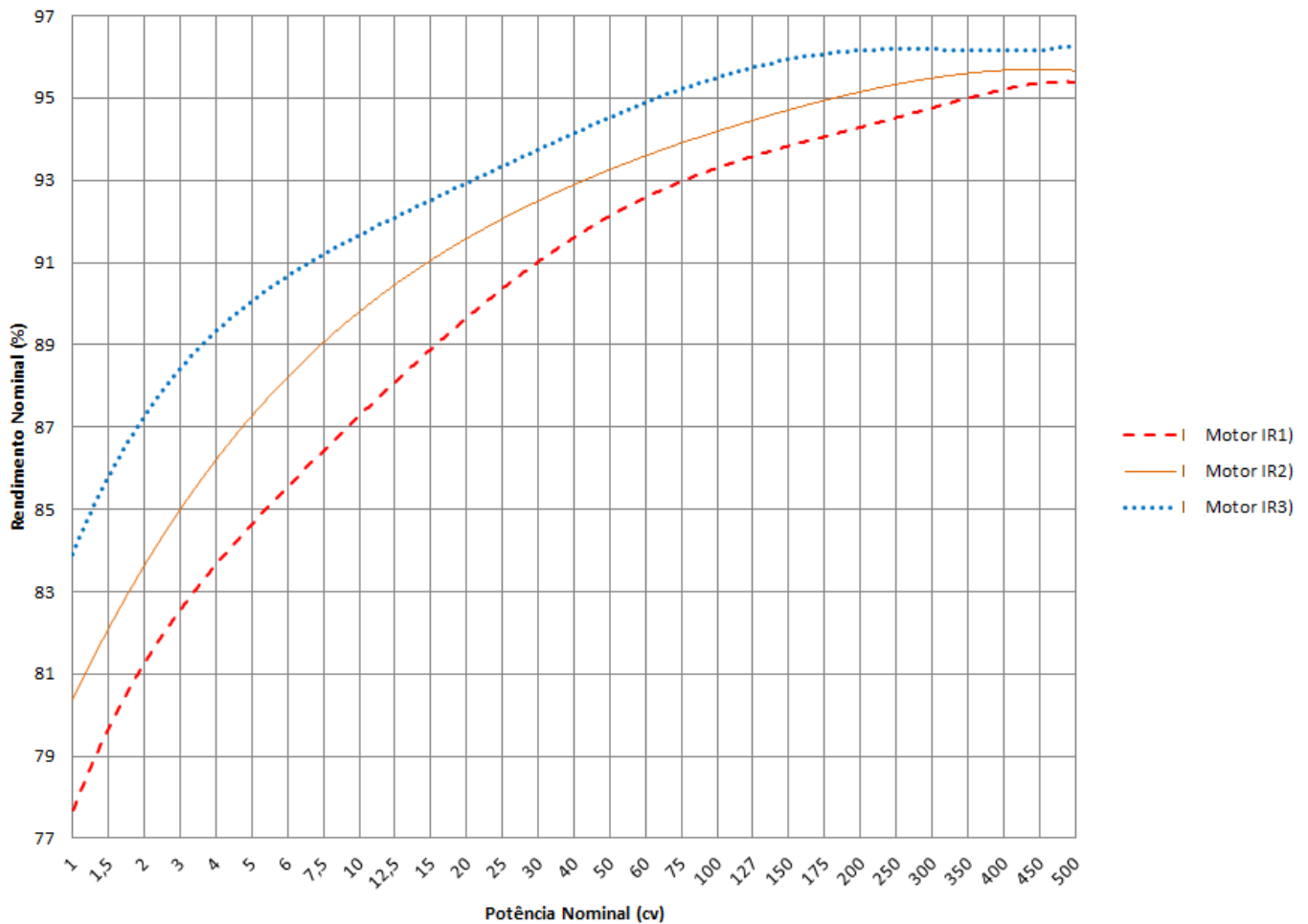
As perdas mecânicas que ocorrem devido o atrito nos mancais, nos rolamentos ou na ventilação. Essas perdas podem ser reduzidas melhorando o projeto, como são feitos nos motores *premium*. São responsáveis entre 5% a 15% das perdas.

As perdas por efeito Joule, tanto no estator quanto no rotor, acontecem devido a circulação de corrente nos condutores dos enrolamentos. São responsáveis entre 25 a 40% e 15 a 25%, respectivamente.

As perdas suplementares são a parcela de perdas que não estão inclusas nos grupos anteriores e podem acontecer por causa do efeito da saturação, distribuição não uniforme das correntes nos enrolamentos, dentre outros.

Como dito anteriormente, o rendimento do motor *premium* é maior que o do motor de alto rendimento (IR2) e do motor padrão (IR1). Através do Gráfico 02, obteve-se curvas do rendimento por potência comercial do motor e verificou-se que quanto maior for a potência maior será o rendimento. Além disso, ao comparar três motores com mesma potência, verifica-se que o motor *premium* sempre terá o rendimento acima dos outros motores.

Gráfico 02 – Rendimento Nominal para Motores Padrão (IR1), de Alto Rendimento (IR2) e *Premium* (IR3), 4 Polos



Fonte: FERREIRA, 2016, p. 25.

Também alguns fabricantes de motores elétricos já fabricam e comercializam motores de rendimentos superiores ao do motor *premium*, são da linha *super premium* (IR4) e até *ultra premium* (IR5).

Contudo, diferentemente dos motores *premium*, que são motores de indução, os motores IR4 e, principalmente, IR5 funcionam utilizando outros princípios, sendo motores síncronos de relutância e os motores de ímã permanente, que utilizam em conjunto os inversores de frequência. Podendo assim, substituir o motor de indução.

3 ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÔMICA

Apresentaremos neste capítulo análise energética e econômica referente à tomada de decisão entre o condicionamento de um motor queimado e a aquisição de um Motor *Premium*, análoga a realizada no (FERREIRA, 2016). Adicionalmente, será apresentado um resumo referente ao programa computacional BD Motor, utilizado neste trabalho.

3.1 Análise Energética

Seja um motor que opere H horas por ano e solicite uma potência elétrica P_e (em kW), a energia elétrica consumida por ano é dada por:

$$E = H \times P_e$$

(05)

A potência elétrica P_e (potência de entrada) está relacionada com a potência mecânica P desenvolvida no eixo (potência de saída), em cv, através do rendimento η e do fator de conversão entre cv e kW de 0,736 (caso o fator de conversão seja entre HP e k, este deve ser 0,746). Pode-se, então, assim calcular o consumo de energia elétrica E através de:

$$E = 0,736 \times H \times P \times \frac{1}{\eta} \quad (06)$$

Considerando os valores dos rendimentos do motor reconicionado η_{RE} e do motor *premium* (IR3) η_{PR} e, também, que ambos atenderiam a mesma potência mecânica (realizando o mesmo trabalho), a Economia de Energia Anual EEA, ao optar por um motor *premium*, em vez do rebobinamento, é dada por:

$$EEA = 0,736 \times H \times P \times \left(\frac{1}{\eta_{RE}} - \frac{1}{\eta_{PR}} \right) \quad (07)$$

Também foi considerado que ambos os motores estão operando com carga (potência), tensão e velocidade constantes e nominais. Se quiséssemos analisar para uma carga variável, seria necessário calcular os valores da economia obtidos em cada intervalo de carga e somá-los para a obtenção da economia anual total.

3.2 Análise Econômica

A partir da Equação 07, é possível obter a Economia Financeira Anual EFA, optando-se pelo motor *premium* (IR3), em vez do motor reconicionado. Considerando a tarifa de energia elétrica T (R\$/kWh), temos:

$$EFA = EEA \times T \quad (08)$$

O cálculo do Tempo de Retorno do Investimento simplificado (*payback* simples), TRI, referente à decisão de adquirir um motor *premium*, em vez de rebobinar o antigo, é apresentado na Equação 09, onde PR_{PR} é o preço do motor *premium* e PR_{RE} é o preço do reconicionamento do motor queimado. Neste caso, não levamos em consideração a variação da moeda no tempo.

$$TRI = \frac{PR_{PR} - PR_{RE}}{EFA} \quad (09)$$

No caso de *payback* composto (TRI composto), levamos em consideração a variação da moeda no tempo e devido a isso utilizamos uma taxa de juros (i) na Equação 10. Nesta equação, segundo (ELETROBRAS CEPTEL, 1998), também poderíamos levar em consideração a tarifa da demanda T_d em R\$/kW.

$$TRI_{CO} = \frac{\log \left(\frac{EEA \times T + 0,736 \times P \times \left(\frac{1}{\eta_{RE}} - \frac{1}{\eta_{PR}} \right) \times T_d \times 12}{EEA \times T + 0,736 \times P \times \left(\frac{1}{\eta_{RE}} - \frac{1}{\eta_{PR}} \right) \times T_d \times 12 - i \times (PR_{PR} - PR_{RE})} \right)}{\log(1+i)} \quad (10)$$

Neste trabalho, desprezou-se esta tarifa de demanda tal, sendo usada então a Equação 11.

$$TRI_{CO} = \frac{\log \left(\frac{EEA \times T}{EEA \times T - i \times (PR_{PR} - PR_{RE})} \right)}{\log(1+i)} \quad (11)$$

Como pode ser observado pelas equações, o tempo de retorno do investimento pode variar devido o (a):

- Valor da taxa de juros (no caso do *payback* composto);
- Diferença entre os preços do motor *premium* e rebobinamento;
- Tarifa de energia;
- Número de horas de operação;
- Diferença entre os rendimentos;
- Potência da carga.

É importante destacar que, após o Tempo de Retorno de Investimento, a economia de energia elétrica é convertida em lucro (R\$) para a indústria, dada pela Equação 08.

3.3 BDMotor

O BDMotor é um programa gratuito desenvolvido pela Eletrobras Cepel que contém um banco de dados com mais de 2000 motores, que abrange motores de indução trifásicos com tensões de 220, 380, e 440V e potências de 0,25 a 250 cv, de diferentes fabricantes.

Permitindo assim, a partir das informações contidas no banco de dados, fazer análises como comparar dois motores, em termos energéticos e econômicos, para opções de compra, substituição ou reparo. O programa permite, também, a avaliação do carregamento de um motor em uso, por meio da medição de sua rotação, corrente ou potência. A tela inicial do programa é apresentada na Figura 06.

Figura 06 – Programa BDMotor



Fonte: BDMOTOR, 2011.

Depois de clicar em iniciar, para fazer uma análise, temos duas opções: “comparar” ou “dimensionar”, conforme a Figura 07.

The screenshot shows the BDMotor software interface. At the top, there are buttons for 'Dados' (Listar, Editar, Imprimir) and 'Análise' (Comparar, Dimensionar). Below these are filters for 'Selecionar por:' (Fabricante: WEG, rpm Síncrono: 1800, Tipo: Todos, Potência (cv):, Grau de Proteção: Todos) and 'Ordenar por:' (Título: NUM). The main part of the interface is a table with 10 columns: Num, Fabrica, Tipo, Gr. Prot., rpm, cv, Carcaça, rpm Assinc., In(A), and Icc(A). The table lists 20 motor models from WEG. At the bottom, a status bar indicates '293 motores estão cadastrados com as características selecionadas.' and a 'Barra de Tarefas' with an 'Ocultar' button.

Num	Fabrica	Tipo	Gr. Prot.	rpm	cv	Carcaça	rpm Assinc.	In(A)	Icc(A)
2642	WEG	Alto Rendimen	IP55	1800	50	200L	1770	122	6,2
2641	WEG	Premium	IP56	1800	50	200L	1770	122	6,4
2552	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	500	355M/L	1790	1150	6,6
2551	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	450	355M/L	1790	1020	7
2550	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	400	355M/L	1790	933	6,6
2549	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	350	355M/L	1790	817	7,3
2548	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	300	355M/L	1790	695	7
2547	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	270	355M/L	1785	620	6,5
2546	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	250	355M/L	1785	581	6,8
2545	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	250	315S/M	1785	591	8
2544	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	200	315S/M	1780	474	6,7
2543	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	200	315S/M	1780	474	6,7
2542	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	175	315S/M	1785	419	6,8
2541	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	175	315S/M	1785	419	6,8
2540	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	150	280S/M	1785	353	7
2539	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	125	280S/M	1785	292	6,7
2538	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	125	280S/M	1785	292	6,7

Figura 07 –Banco de Dados do Programa BDMotor

Fonte: BDMOTOR, 2011.

O dimensionamento do motor em uso, que nada mais é que a verificação de seu carregamento, pode ser efetuado através da medição da corrente, potência de entrada ou rotação do motor em operação. Partindo desses dados, o programa faz a análise e apresenta o carregamento que o motor está operando. Neste trabalho, esta não foi uma opção utilizada, consideramos os motores operando a 100% do carregamento.

A análise feita neste trabalho foi “Comparar” e pode ser feita entre um motor novo e outro motor (podendo ser ele novo, em uso ou a reparar), conforme a Figura 08. Segundo os objetivos deste trabalho, a opção escolhida foi “Reparar X Novo”. Detalhes com resultados de caso analisado, são apresentados no Capítulo 4.

Figura 08 – Opção “Comparar” do Programa BDMotor

Num	Fabrica	Tipo	Gr. Prot.	rpm	cv	Carcaça	rpm Assinc.	In(A)	Icc(A)
1	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	1,5	100 La	850	6,3	3,5
2	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	1	90 L	850	6,3	3,5
3	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	1	90 L	865	4,5	3,9
4	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	1,5	100 La	850	6,3	3,5
5	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	1,5	100 La	850	6,3	3,5
6	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	1,5	100 La	850	6,3	3,5
7	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	2	112 Ma	865	7,5	4,1
8	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	2	112 Ma	865	7,5	4,1
9	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	2	112 Ma	865	7,5	4,1
10	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	3	132 Sa	875	11	5
11	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	3	132 Sa	875	11	5
12	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	3	132 Sa	875	11	5
13	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	4	132 Ma	870	14	5,1
14	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	4	132 Ma	870	14	5,1
15	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	4	132 Ma	870	14	5,1
16	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	5	132 M	875	17,5	5
17	EBERLE	Alto Rend.	IP54	900	5	132 M	875	17,5	5

2640 motores estão cadastrados com as características selecionadas. Barra de Tarefas Ocultar

Fonte: BDMOTOR, 2011.

Neste *software* também há a possibilidade de atualizar ou adaptar as informações do banco de dados, além de para incluir (ou excluir) motor (es) e/ou fabricante(s). Para isso, utiliza-se o módulo Editar. No caso da inclusão, é necessário preencher as informações do novo motor a ser cadastrado, como mostra a Figura 09. Para simulações apresentadas no Capítulo 4, foi necessário cadastrar novos motores para iniciar as simulações.

Figura 09 –Cadastro ou Editor das Informações dos Motores

CADASTRO DE MOTORES = > 2643 Motores Cadastrados.

Sigla do Fabricante	Tipo	RPM	Grau de Proteção	Fabricante
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Cadastrar >>				

Num. 2643

Potencia(CV) <input type="text"/>	Rendimento 50% <input type="text"/>	Momento de Inércia (kgm ²) <input type="text"/>
Caixa <input type="text"/>	Rendimento 75% <input type="text"/>	Tempo com Rotor Bloqueado (s) <input type="text"/>
RPM Assinc. <input type="text"/>	Rendimento 100% <input type="text"/>	Nível de Ruído (dB) <input type="text"/>
Corrente Nominal (A) <input type="text"/>	Fator de Potência 50% <input type="text"/>	Peso(kg) <input type="text"/>
Corrente Rotor Bloqueado (A) <input type="text"/>	Fator de Potência 75% <input type="text"/>	Preço (R\$) <input type="text"/>
Conjugado Nominal (kgfm) <input type="text"/>	Fator de Potência 100% <input type="text"/>	Garantia (Anos) <input type="text"/>
Conjugado Rotor Bloqueado <input type="text"/>	Fator de Serviço <input type="text"/>	Ano de Fabricação <input type="text"/>
Conjugado Máximo <input type="text"/>		

Número do Motor
 Motor Selecionado Para Edição.

AJUDA **Pesquisar** **Excluir** **Incluir** **Alterar** **Aplicar** **Retornar**

Fonte: BDMOTOR, 2011.

Também há a opção "Cadastrar", este comando poderá ser acionado quando for necessário incluir ou excluir um fabricante no banco de dados, alterar as informações necessárias para o cadastramento, como por exemplo: o nome do fabricante, endereço e telefone, além disso, o tipo (patamar de rendimento), grau de proteção e rpm (velocidade síncrona) dos motores abrangidos por cada fabricante.

Na versão utilizada para fazer as simulações do Capítulo 4, há o recurso de gravar os dados simulados, gerando assim uma espécie de relatório contendo dados dos motores em análise e os resultados, tendo a opção de ser impresso, gravado ou revisado pós simulação, por meio do comando do botão Gravar.

4 RESULTADOS

Neste Capítulo, serão apresentados os resultados, inicialmente, analiticamente, para um Caso Inicial e, posteriormente, utilizando-se o programa BD Motor, apresentado na Seção 3.3, ratificam-se os resultados. Usando a metodologia do caso inicial, são apresentados, ainda, resultados gerais, que permitem que sejam comparadas, para diversas condições, a viabilidade econômica de comprar um novo motor elétrico *premium*, em vez de rebobiná-lo.

4.1 Caso Inicial

Como caso inicial, será considerado um motor queimado de 50 cv, 4 polos, 220 V, onde são analisadas duas opções para a solução do problema: o recondicionamento ou a aquisição de um novo motor da classe *premium* (IR3). Considerou-se os rendimentos nominais do motor *premium* e do motor após o rebobinamento sejam de 94,6% e 85,9%, respectivamente. A diferença entre os rendimentos, de 8,7%, é um valor médio de acordo com um estudo realizado pela PUC-Rio/ABINEE (ANEEL, 2015), cujos resultados foram divulgados em 2015. Segundo este estudo, esta diferença não se refere apenas ao rebobinamento, mas também ao fato de que um motor queimado médio possui uma vida média de 17 anos, de acordo com (ABRAMAM, 2011), onde os patamares médios de rendimentos eram inferiores aos disponíveis atualmente.

Considerando, ainda, que os motores desenvolvem potência nominal, operando com tensão nominal e mesma velocidade, durante 6.000 horas por ano, a Economia Anual de Energia (EEA) ao se optar pelo uso do motor *premium*, de acordo com a Equação 07 será:

$$EEA = 0,736 \times 6000 \times 50 \times \left(\frac{1}{0,859} - \frac{1}{0,946} \right)$$

$$EEA = 23.639,27 \text{ kWh/ano.}$$

Para a análise econômica apresentada a seguir considerou-se que os custos do recondicionamento e de aquisição do motor *premium* são de R\$ 3.419,00 e R\$ 12.726,37, respectivamente, e que a tarifa de energia elétrica tenha um custo de R\$ 0,55/kWh. Os custos de recondicionamento e do novo motor foram obtidos por consultas a oficinas de

recondicionamento e fornecedores. Já a tarifa de energia elétrica, foi a mesma utilizada em (FERREIRA, 2016). Para as condições citadas, o Tempo de Retorno do Investimento (TRI) para a opção de compra do motor *premium*, em vez do recondicionamento, de acordo com a Equação 09 será:

$$TRI = \frac{12.726,37 - 3.419,00}{23.639,27 \times 0,55} = 0,71 \text{ anos}$$

Equivalendo aproximadamente a 9 meses.

O lucro anual, de acordo com a Equação 08, após o TRI será de aproximadamente R\$ 13.001,6, cabendo observar que este valor é superior ao preço do motor *premium*.

Conforme apresentado na Seção 3.2, o cálculo do TRI, também conhecido como *payback* simples, não leva em conta o valor da moeda no tempo, desconsiderando a taxa de juros do *payback* composto. Com isso, torna-se uma estimativa inicial para uma análise da tomada de decisão sobre o investimento. Artifício frequentemente utilizado por industriais para uma avaliação inicial. Por desconsiderar a taxa de juros, esta estimativa é otimista, ou seja, seus valores comparados ao *payback* composto, são menores.

Se considerarmos, sob as mesmas condições apresentadas anteriormente, o *payback* composto, utilizando a taxa de juros SELIC de 6,75 % conforme (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2018) o tempo de retorno de investimento, de acordo com a Equação 11, será:

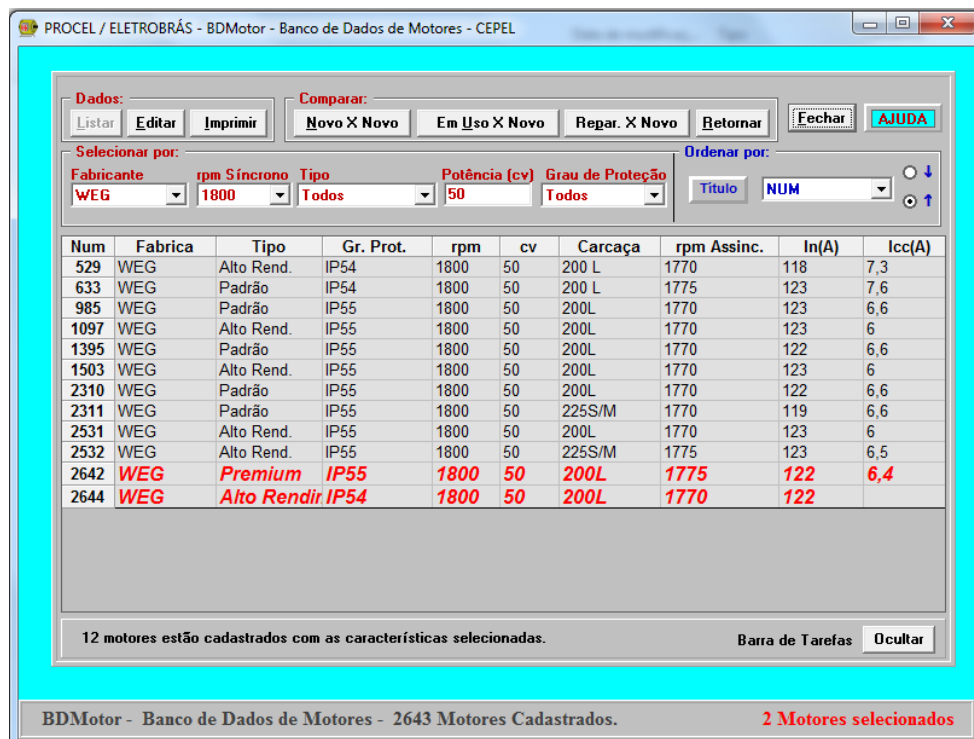
$$TRI_{CO} = \frac{\log \left[\frac{23.639,27 \times 0,55}{23.639,27 \times 0,55 - 0,0675 \times (12.726,37 - 3.419,00)} \right]}{\log(1 + 0,0675)} = 0,76$$

Equivalendo aproximadamente 10 meses. Cabe destacar que, quanto maior a taxa de juros, maior o *payback*, podendo inviabilizar economicamente a aquisição do motor *premium* em alguns casos, como apresentado em (FERREIRA,2016), situação no qual o valor da taxa de juros é de 6,45% a.a.

4.2 Caso Inicial via BDMotor

Sob as mesmas considerações do Caso Inicial, efetua-se a mesma comparação entre o recondicionamento do motor queimado ou a aquisição de um motor *premium* (IR3), utilizando-se o programa BD Motor, apresentado na Seção 3.3.

Para se efetuar a simulação no referido programa, é preciso cadastrar os dois motores apresentados na Seção 4.1. Para o motor *premium*, os dados para cadastro de novo motor foram retirados de catálogo do fabricante WEG, de acordo com o Anexo 1 (WEG, 2017). Para o motor rebobinado, foram utilizados dados de um motor com vida média de 17 anos, conforme Anexo 1 também baseado no catálogo (WEG, 2017). Uma vez cadastrados, esses novos motores podem ser selecionados, conforme Figura 10 para se efetuar a comparação entre os mesmos.



The screenshot shows the BDMotor software interface. At the top, there are buttons for 'Dados' (Listar, Editar, Imprimir) and 'Comparar' (Novo X Novo, Em Uso X Novo, Repar. X Novo, Retornar). Below these are filters for 'Selecionar por:' (Fabricante: WEG, rpm Síncrono: 1800, Tipo: Todos, Potência (cv): 50, Grau de Proteção: Todos) and 'Ordenar por:' (Título, NUM). The main table lists 12 motors with columns: Num, Fabrica, Tipo, Gr. Prot., rpm, cv, Carcaça, rpm Assinc., In(A), and lcc(A). Two motors are highlighted in red: 2642 (WEG Premium IP55) and 2644 (WEG Alto Rendir IP54). At the bottom, a status bar indicates '12 motores estão cadastrados com as características selecionadas.' and '2 Motores selecionados'.

Num	Fabrica	Tipo	Gr. Prot.	rpm	cv	Carcaça	rpm Assinc.	In(A)	lcc(A)
529	WEG	Alto Rend.	IP54	1800	50	200 L	1770	118	7,3
633	WEG	Padrão	IP54	1800	50	200 L	1775	123	7,6
985	WEG	Padrão	IP55	1800	50	200L	1770	123	6,6
1097	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	50	200L	1770	123	6
1395	WEG	Padrão	IP55	1800	50	200L	1770	122	6,6
1503	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	50	200L	1770	123	6
2310	WEG	Padrão	IP55	1800	50	200L	1770	122	6,6
2311	WEG	Padrão	IP55	1800	50	225S/M	1770	119	6,6
2531	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	50	200L	1770	123	6
2532	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	50	225S/M	1775	123	6,5
2642	WEG	Premium	IP55	1800	50	200L	1775	122	6,4
2644	WEG	Alto Rendir	IP54	1800	50	200L	1770	122	

Figura 10 – Seleção dos Motores Cadastrados

Fonte: O autor, 2018.

Selecionados os dois motores, a comparação pode ser efetuada, a partir do fornecimento dos dados de entrada para o programa (custos de reparo, do novo motor e da energia elétrica, além do número de horas de operação). Além disso: i) considerou-se carregamento de 100%; ii) a perda de rendimento devido ao rebobinamento já está considerada no rendimento de 85,9%, por isso manteve-se o valor *default* de 0%; iii) desconsiderou-se eventual desconto (dado por fabricante, por concessionária etc) para aquisição do motor *premium*. A partir de então, considerando todos os dados descritos anteriormente, na Figura 11 é obtido o tempo de retorno de investimento (*payback* simples) e economia de energia. Estes valores coincidem com aqueles apresentados na Seção 4.1.

Comparação Entre Motores (Reparar X Novo)	
Motor 2644 - WEG	Motor 2642 - WEG
Potência (cv) 50	Potência (cv) 50
Carga (%) 100	Carga (%) 100
Rendimento (%) 85,9	Rendimento (%) 94,6
Perda Rend. (%) 0	Preço (R\$) 12726,37
Reparo (R\$) 3419	Desconto (%) 0
Total Horas (Ano) 6000	Total Horas (Ano) 6000
Tarifa média de energia : 0,55 (R\$/kWh)	Carga centrífuga : <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
Consumo Ativo no Ano (kWh - R\$)	
257043,07 kWh 77755,53 R\$	233403,81 kWh 70604,65 R\$
Retorno da diferença do investimento (Payback) - Motor 2642	
9 meses	
Diferença de invest.: 9307,37 R\$	Economia por Ano : 23639,27 kWh 13001,60 R\$

Figura 11 – Dados de Entrada e de Saída para Simulação

Fonte: O autor, 2018.

4.3 Resultados Gerais

Na Tabela 03 apresentam-se valores do tempo de retorno de investimento (TRI), para *payback* simples, e na Tabela 04, para *payback* composto. Estas podem ser utilizadas como fonte de consulta inicial quando for necessário comparar a compra de um motor *premium* (IR3) com o recondicionamento de um motor queimado, para diferentes potências comerciais (1 a 500 cv), de 4 polos, para 2000, 4000, 6000 ou 8000 horas de operação ao ano. Os resultados para cada condição podem ser obtidos usando o mesmo procedimento apresentado na Seção 4.1 (*payback* simples e composto) ou Seção 4.2 (*payback* simples). Cabe observar que, optou-se por apresentar os resultados para 4 polos (rotação nominal próxima de 1800 rpm), por constituírem a maioria dos motores das indústrias.

Como esperado, ao analisar as tabelas, pode ser observado que quanto maior o número de horas de operação dos motores elétricos, menor o tempo de retorno de investimento.

Cabendo destacar que a maioria dos motores elétricos instalados nas indústrias operam mais de 4.000 h/ano.

Tabela 03 – Tempo de Retorno do Investimento (*Payback* Simples em Anos) para Compra do Motor *Premium* (IR3) ao invés do Recondicionamento de um Motor Queimado (com uma vida média de 17 anos) de 4 Polos para Carga Nominal (Tarifa Considerada de R\$ 0,550/kWh)

Potência (cv)	TRI (anos) para 2000 h/ano	TRI (anos) para 4000 h/ano	TRI (anos) para 6000h/ano	TRI (anos) para 8000 h/ano
1,0	5,67	2,83	1,89	1,42
1,5	4,61	2,31	1,54	1,15
2,0	4,38	2,19	1,46	1,10
3,0	3,46	1,73	1,15	0,87
4,0	3,39	1,69	1,13	0,85
5,0	2,91	1,46	0,97	0,73
6,0	3,14	1,57	1,05	0,78
7,5	2,76	1,38	0,92	0,69
10,0	2,63	1,32	0,88	0,66
12,5	2,40	1,20	0,80	0,60
15,0	2,13	1,07	0,71	0,53
20,0	2,37	1,19	0,79	0,59
25,0	2,23	1,11	0,74	0,56
30,0	2,59	1,29	0,86	0,65
40,0	2,47	1,24	0,82	0,62
50,0	2,15	1,07	0,71*	0,54
60,0	2,82	1,41	0,94	0,70
75,0	2,52	1,26	0,84	0,63
100,0	2,22	1,11	0,74	0,56
125,0	2,68	1,34	0,89	0,67

150,0	2,45	1,22	0,82	0,61
175,0	2,70	1,35	0,90	0,68
200,0	2,48	1,24	0,83	0,62
250,0	2,34	1,17	0,78	0,58
300,0	2,86	1,43	0,95	0,72
350,0	2,68	1,34	0,89	0,67
400,0	2,47	1,23	0,82	0,62
450,0	2,40	1,20	0,80	0,60
500,0	2,37	1,19	0,79	0,59

Fonte: O autor, 2018. * Cálculos na seção 4.1

Tabela 04 – Tempo de Retorno do Investimento (*Payback* Composto em Anos) para Compra do Motor *Premium* (IR3) ao invés do Recondicionamento de um Motor Queimado (com uma vida média de 17 anos) de 4 Polos para Carga Nominal (Tarifa Considerada de R\$ 0,550/kWh e Taxa de Juros de 6,75%)

Potência (cv)	TRI Composto (anos) para 2000 h/ano	TRI Composto (anos) para 4000 h/ano	TRI Composto (anos) para 6000 h/ano	TRI Composto (anos) para 8000 h/ano
1	7,38	3,25	2,09	1,54
1,5	5,71	2,59	1,68	1,24
2	5,37	2,45	1,59	1,18
3	4,07	1,90	1,24	0,92
4	3,98	1,86	1,21	0,90
5	3,35	1,58	1,04	0,77
6	3,64	1,71	1,12	0,83
7,5	3,15	1,49	0,98	0,73
10	3,00	1,42	0,93	0,70
12,5	2,70	1,29	0,85	0,63
15	2,38	1,14	0,75	0,56
20	2,67	1,28	0,84	0,63
25	2,49	1,20	0,79	0,59
30	2,94	1,40	0,92	0,68
40	2,79	1,33	0,88	0,65
50	2,40	1,15	0,76*	0,57
60	3,23	1,53	1,00	0,75
75	2,85	1,36	0,89	0,67
100	2,49	1,19	0,79	0,59
125	3,06	1,45	0,95	0,71
150	2,77	1,32	0,87	0,65
175	3,08	1,46	0,96	0,71
200	2,81	1,34	0,88	0,66
250	2,63	1,26	0,83	0,62
300	3,28	1,55	1,02	0,76
350	3,05	1,45	0,95	0,71

400	2,79	1,33	0,87	0,65
450	2,71	1,29	0,85	0,63
500	2,67	1,28	0,84	0,63

Fonte: O autor, 2018. * Cálculos na seção 4.1

5 CONCLUSÃO

Devido a relevância do motor elétrico em um sistema motriz, quando um motor sofre alguma avaria, a tendência da escolha do empresário é optar pelo recondicionamento do motor ao invés da compra de um novo. Pois a princípio esta opção parece ser mais “vantajosa” economicamente, não considerando a perda de rendimento e o consequente aumento do consumo de energia elétrica. Em virtude disso, houve um aumento dos estabelecimentos que executam este serviço, e que por muitas vezes, sem a mínima estrutura de funcionamento, piorando os rendimentos dos motores elétricos.

Verifica-se também que o recondicionamento feito em motores novos não é a situação corriqueira, uma vez que motores utilizados nas indústrias brasileiras, na média, tenham uma idade de 17 anos segundo pesquisa da (ABRAMAN, 2011). Também deve ser destacado que um bom recondicionamento pode contribuir com uma perda mínima no rendimento do motor, mas essa não é a realidade da maioria dos estabelecimentos, que, em alguns casos, comercializam os motores rebobinados, desconsiderando as regulações brasileiras.

Uma outra opção para os empresários, seria a compra de um motor novo, com patamar de rendimento acima do motor recondicionado, que, neste estudo, seria o motor *premium*. Este motor apresenta um menor consumo de energia elétrica, em função das diversas evoluções mencionadas no Capítulo 2. Mesmo que o seu valor de aquisição seja maior do que o serviço de recondicionamento, o valor economizado de energia elétrica pagará essa diferença, depois de algum tempo, e após isso será revertido em lucro.

Estas duas opções foram analisadas, neste trabalho, analiticamente e por meio dos *softwares* BDMotor e planilhas Excel. Foi simulado o caso que leva em consideração um

motor queimado (50 cv, 4 polos, 220V), no qual pode se optar entre o recondicionamento ou a compra de um novo motor, com as mesmas características. Assim, foram feitas análises da viabilidade econômica para buscar qual era a melhor alternativa. Verificou-se que o Tempo de Retorno de Investimento (TRI), para 6000 horas de operação, seria de aproximadamente 9 meses (ou 10 meses considerando-se a taxa de juros), ao se optar pela compra de um motor *premium* ao invés de rebobinar o motor queimado. Após esse tempo, o lucro anual para o empresário será de R\$13.001,60.

Nas simulações gerais, verificou-se que quanto maior o tempo de operação do motor, menor será o tempo de retorno de investimento. Para 2000 horas, 4000 horas e 8000 horas, o TRI será, respectivamente, de 26 meses, 13 meses e 7 meses. Considerando-se a taxa de juros (*payback* composto), os tempos de retorno de investimento são respectivamente, 29 meses, 14 meses, 10 meses e 7 meses (para 2000, 4000, 6000 e 8000 horas de operação, respectivamente), ficando evidente que os valores dos tempos de retorno do investimento obtidos no *payback* simples são menores, comparados ao *payback* composto.

Pôde-se também verificar que o tempo de retorno de investimento (TRI) também dependem das seguintes variáveis: tarifa da energia, custo de rebobinamento e aquisição, a diferença entre os rendimentos, a potência da carga, além da própria taxa de juros.

Todas estas simulações, tanto para *payback* simples quanto composto, foram realizados para todas as potências comerciais, para motores de 4 polos (maioria dos motores de indução). Estas tabelas permitem uma avaliação de acordo com a situação industrial. Cabendo, destacar, conforme verificado anteriormente, que a decisão entre recondicionamento ou adquirir um motor novo depende de uma série de variáveis: tarifa de energia elétrica, número de horas de operação, diferença entre os rendimentos, potência da carga, preço do novo motor do recondicionamento, taxa de juros, além de outros parâmetros não listados neste trabalho. Assim, como em outros problemas da engenharia, não existe solução pronta, cabendo destacar por fim que, de acordo com a recente Portaria Interministerial N°1, de 29 de junho de 2017, não será permitido a comercialização de motores com rendimentos inferiores a classe IR3 ou *premium*, estando abrangidas também a comercialização de motores reconicionados.

5.1 Tópicos para trabalhos futuros

Abaixo destacam-se algumas sugestões de trabalhos a serem elaborados futuramente:

- Realizar experimentos em laboratório buscando avaliar mais precisamente os rendimentos dos motores nas condições estudadas;
- Analisar criteriosamente todas as etapas de recondicionamento e como estas podem afetar a perda do rendimento;
- Estabelecer novos estudos e simulações com demais elementos dos sistemas motrizes, não levando em consideração somente o motor elétrico;
- Avaliar a normalização e fiscalização que é aplicada aos estabelecimentos que prestam serviço de recondicionamento e sugerir melhoria em sua execução.

REFERÊNCIAS

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica*. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em 25 de jan. 2018.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Balanço de Energia Útil - BEU*. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 10 de jan. 2018.
- FERREIRA, C. A. *Motor elétrico premium*. 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. *A Situação da Manutenção no Brasil*. Paraná, 2011. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br>>. Acesso em 10 de jan. 2018.
- EMPRESA WEG. *Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão – especificação, características e manutenção*. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-6-motores-eletricos-assincrono-de-alta-tensao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em 14 de fev. 2018.
- FILIPPO FILHO, G. *Motor de Indução*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2013.
- FERREIRA, C. A. C. *Análise Técnico-Econômica de Motores de Indução Trifásicos Utilizando-se os Programas Computacionais BD Motor e Motor Master+International*. Orientador: Carlos Aparecido Ferreira. 2015, 110f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Engenharia, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ, 2015.
- FITZGERALD, A. E; KINGSLEY, C. Jr; UMANS S. D. *Máquinas Elétrica – com introdução à eletrônica de potência*. 6. ed. New York: Bookman, 2006.
- ASSESSORIA PUC-RIO. *Motores ilegais desperdiçam 7 milhões de MWh por ano*. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://assessoria.vrc.puc-rio.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=35585&sid=70>>.. Acesso em 14 de fev. 2018.
- BRASIL. Lei Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências, a vigorar em 2001. *Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de out. 2001; 180º da Independência e 113º da República*. Seção 1, p. 1.

EASA; AEMT. *The effect of repair/ rewinding on Motor Efficiency*. Missouri; York, 2003. Disponível em: <<https://www.easa.com/resources/booklet/effect-of-repair-rewinding-on-motor-efficiency>>. Acesso em 14 de fev. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Chamada Nº 002/2015. Incentivo à substituição de motores elétricos: promovendo a eficiência energética no segmento Força Motriz*. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:<<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Chamada%20PEE%20Priorit%C3%A1rio%2002%20-%202015.pdf>>. Acesso em 14 de fev. 2018.

ELETROBRA CEPEL, *Guia Operacional de Motores Elétricos*, 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras, 1998.

ELETROBRAS CEPEL. *BDMotor*: software livre. Versão 4.21 2. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: Acesso < <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BA6340DFB-8A42-41FC-A79D-B43A839B00E9%7D&Team=¶ms=itemID=%7BC8833C81-FF1D45E3-9CF0-D5656CB0DC15%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em 14 fev. 2018.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Evolução da taxa SELIC*. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp>>. Acesso em 14 de fev. 2018.

EMPRESA WEG. *W22-Motor Elétrico Trifásico. Catálogo técnico mercado brasileiro*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: < <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-brasil-50023622-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em 14 de fev. 2018.

BIBLIOGRAFIA

ENGENHO EDITORA TÉCNICA LTDA. *Estudo do CTC/PUC-Rio confirma que comercialização de motores industriais reconicionados, e com baixo nível de eficiência, interfere na gestão energética.* Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <www.brasilengenharia.com/portal/cursos/9507-estudo-do-ctcpuc-rio-confirma-que-comercializacao-de-motores-industriais-reconicionados-e-com-baixo-nivel-de-eficiencia-interfere-na-gestao-energetica-brasileira>. Acesso em 14 de fev. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria Interministerial nº 1, de 29 de junho de 2017. Institui estabelecer novos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia. Diário Oficial União, Brasília, DF, n. 167, 29 de jun. 2017. Seção I, p. 50.

ANEXOS

Anexo 1: Dados dos motores *premium* e reconicionado

Nas tabelas 05 e 06, são apresentados os dados para realizar as simulações, no programa BD Motor, para o motor elétrico *premium* e para o motor com vida média de 17 anos, o reconicionado, com base no catálogo (WEG, 2017).

Para o motor *premium*, obteve-se os dados de catálogo da empresa Weg, para um motor elétrico de partamar IR3, 50 cv, 4 polos e 220 V. Esses dados foram inseridos na ficha de cadastro do programa BDMotor.

Tabela 05 – Tabela do Catálogo do Motor W22 IR3, 50 cv

Potência		Carcaça	Conjugado Nominal (kgfm)	Corrente com Rotor Bloqueado Ip/In	Conjugado de Partida Cp/Cn	Conjugado Máximo Cmáx/Cn	Momento de Inércia J (kgm ²)	Tempo máximo com rotor bloqueado (s)		Massa (kg)	Nível médio de pressão sonora dB(A)	Fator de Serviço	220 V							
kW	HP							RPM	% de Carga				Corrente Nominal In (A) (2)							
									Rendimento					Fator de Potência						
					50	75	100	50	75	100										
IV polos																				
30	40	200M	16,5	6,6	2,5	2,8	0,3202	22	48	241	66	1,25	1775	93,6	94,2	94,4	0,70	0,79	0,84	99,2
37	50	200L	20,3	6,4	2,5	2,7	0,3728	20	44	266	66	1,25	1775	94,0	94,5	94,6	0,70	0,80	0,84	122
45	60	225S/M	24,6	7,5	2,4	2,8	0,6367	14	31	424	67	1,25	1730	94,2	94,7	95,1	0,71	0,80	0,85	146

Fonte: WEG, 2017, p. 35.

Para o motor elétrico com uma vida média de 17 anos, que será reconicionado, as informações utilizadas foram de um motor com um patamar abaixo do motor *premium*. Considerou-se um motor de alto rendimento. Como este motor já está em uso, o rendimento não será o mesmo de um motor IR2 novo. Será considerado rendimento de 85,9%, cuja a diferença é de 8,7%, comparado ao rendimento do motor *premium*, de acordo com (ASSESSORIA PUC-RIO, 2014). Todavia, as demais informações serão consideradas iguais a de um motor de alto rendimento novo, 50 cv, 4 polos e 220 V.

Tabela 06 - Tabela do Catálogo do Motor W22 IR2, 50 cv

Potência		Carcaça	Conjugado Nominal (kgfm)	Corrente com Rotor Bloqueado Ip/In	Conjugado de Partida Cp/Cn	Conjugado Máximo Cmáx/Cn	Momento de Inércia J (kgm ²)	Tempo máximo com rotor bloqueado (s)		Massa (kg)	Nível médio de pressão sonora dB(A)	Fator de Serviço	220 V							
kW	HP							RPM	% de Carga				Corrente Nominal In (A) (2)							
									Rendimento					Fator de Potência						
					50	75	100	50	75	100										
IV polos																				
30	40	200M	16,5	6,2	2	2,3	0,2406	18	40	210	69	1,15	1770	92,7	93,2	93,4	0,72	0,81	0,85	99,2
37	50	200L	20,4	6,2	2,5	2,6	0,3074	14	31	241	69	1,15	1770	93,0	93,2	93,6	0,72	0,80	0,85	122
45	60	225S/M	24,7	7,2	2,4	2,6	0,4931	12	26	383	70	1,15	1775	93,5	93,7	94,1	0,76	0,83	0,86	146

Fonte: WEG, 2017, p. 39.