

**FACULDADE PATOS DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ADAMAR PEREIRA
ALEXANDRE LOPES DA SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVO DE PARÂMETRO DE
MOTOR DE INDUÇÃO CA NOVO VERSUS MOTOR
REBOBINADO**

**PATOS DE MINAS
2019**

**ADAMAR PEREIRA
ALEXANDRE LOPES DA SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVO DE PARÂMETRO DE
MOTOR DE INDUÇÃO CA NOVO VERSUS MOTOR
REBOBINADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Patos de
Minas como requisito para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Guilherme
Fernandes

**PATOS DE MINAS
2019**

FACULDADE PATOS DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA
Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica

ADAMAR PEREIRA
ALEXANDRE LOPES DA SILVA

ANÁLISE COMPARATIVO DE PARÂMETRO DE
MOTOR DE INDUÇÃO CA NOVO VERSUS MOTOR
REBOBINADO

Banca Examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, composta em 13 de Novembro de 2019.

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, pela comissão examinadora constituída pelos professores:

Orientador: Prof. Me. Guilherme Thiago Fernandes Sousa - Faculdade Patos de Minas

Examinador: Prof. Esp. Wesley Nunes da Silva - Faculdade Patos de Minas

Examinador: Prof. Esp. Ederson Mota - Sagel Motores



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela realização dessa conquista, e por iluminar o nossos caminhos, para poder alcançar os nossos objetivos. Agradeço à minha esposa e minha filha pela compreensão de estar ausente todas as noites, e aos nossos professores pela paciência que tiveram conosco. Agradeço aos nossos colegas de faculdade que nos ajudaram e nos incentivaram para o desenvolvimento deste trabalho. A todos os professores da FPM (Faculdade de Patos de Minas) pelo aprendizado e por repassarem seus conhecimentos, principalmente ao nosso orientador e professor Guilherme, pelo apoio e orientação. Agradeço àqueles que de forma direta ou indireta também contribuíram, e fizeram parte desta conquista. Muito obrigado!

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta a metodologia empregada para a uma análise comparativa dos parâmetros de motores de indução trifásicos assíncronos de corrente alternada originais de fábrica e rebobinados, seguindo um roteiro de cálculos baseados nos ensaios. Foram realizados testes de laboratório buscando-se evidenciar através de dados, cálculos e gráficos se os motores após o processo de rebobinagem mantiveram as características inerente ao motor original de fábrica. As análises e comparações dos parâmetros foram feitas a partir do emprego dos valores de fator de potência, rendimento, escorregamento e perdas, obtidos mediante cálculos a partir dos valores mensurados medidos a plena carga de corrente, rotação, potência de entrada e tensão de entrada, sendo que os motores utilizados nos testes possuem potência nominal de 1 CV. O motor recondicionado foi rebobinado na empresa ELÉTRICA GERAL de Patos de Minas MG.

Palavras-chave: Motor elétrico, motor de indução, motores rebobinados, parâmetros.

ABSTRACT

This course completion paper presents a methodology employed for a comparative analysis of the parameters of factory original and rewind asynchronous alternating current three-phase induction motors, following a script of calculations used in the tests. Laboratory tests were performed, seeking evidence of data, calculations and graphs, if the motors after the rewinding process maintained as inherent characteristics of the original factory motor. As analysis and parameter comparisons were made after the use of power factor values, yield, slip and reproduction, use of calculations from measured values measured at full current load, rotation, input speed and input voltage. that the engines used in the tests have a rated power of 1 hp. The refurbished engine was rewind at the company ELECTRIC GENERAL Patos de Minas MG.

Keywords: Electric motor, induction motor, rewind motors, parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Partes e peças de motor elétrico trifásico.....	11
Figura 2 - Evolução do Motor Elétrico.....	12
Figura 3 - Triângulo de Potências.....	23
Figura 4 - Circuito equivalente de uma fase de um MIT.....	27
Figura 5 - Ensaio CC.....	27
Figura 6 - Ensaio a Vazio.....	28
Figura 7 - Ensaio de Rotor Bloqueado.....	30
Figura 8 - Ensaio de CC.....	33
Figura 9 - Esquema para Medição do Ensaio a Vazio.....	34
Figura 10 - Ensaio rotor bloqueado.....	36
Figura 11 - Ensaio a plena carga.....	38
Figura 12 - Escorregamento.....	42
Figura 13 - Rendimento.....	42
Figura 14 - Fator de Potência.....	44
Figura 15 - Perdas.....	44

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Normas ABNT para Motores de Indução Trifásicos.....	19
Tabela 2 - Parâmetros nominais dos motores.....	32
Tabela 3 - Dados obtidos com ensaio CC.....	33
Tabela 4 - Dados obtidos com ensaios vazios.....	35
Tabela 5 - Dados obtidos com ensaio rotor bloqueado.....	37
Tabela 6 - Dados obtidos com ensaio a plena carga.....	38
Tabela 7 - Dados obtidos pelos cálculos.....	39
Tabela 8 - Tabela comparativa de preços.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	09
1.1	Problemática	09
1.2	Objetivos	09
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	09
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	09
1.3	Justificativa	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	O motor e sua estrutura	11
2.2	Sistemas e informações	13
2.3	Motores elétricos	13
2.4	Manutenção de motores elétricos	14
2.4.1	<i>Limpeza</i>	15
2.4.2	<i>Lubrificação</i>	15
2.4.3	<i>Intervalos de relubrificação</i>	16
2.4.4	<i>Qualidade e quantidade de graxa</i>	16
2.4.5	<i>Substituição de rolamentos</i>	17
2.4.6	<i>É obrigatório fazer manutenção mensalmente</i>	17
2.5	Causas de baixa eficiência em motores elétricos Sistema Atual	18
2.6	Normas ABNT para os motores elétricos de indução trifásicos	19
2.6.1	<i>Características Principais Perdas por Efeito Joule</i>	20
2.6.2	<i>Velocidade Nominal</i>	20
2.6.3	<i>Corrente Nominal</i>	21
2.6.4	<i>Rendimento</i>	21
2.6.5	<i>Fator de Potência</i>	22
2.6.6	<i>Escorregamento</i>	22
2.6.7	<i>Perdas</i>	24
2.6.7.1	<i>Perdas por Efeito Joule</i>	25
2.6.7.2	<i>Perdas no Núcleo</i>	25
2.6.7.3	<i>Perdas Mecânicas</i>	26
2.7	Ensaio CC para a Resistência do estator	26
2.7.1	<i>Ensaio a Vazio</i>	28
2.7.2	<i>Ensaio de Rotor Bloqueado</i>	29
3.1	Ensaio p/ Determinação do Circuito Equivalente do Motor de Indução	32
3.1.1	<i>Ensaio em CC</i>	32
3.1.2	<i>Ensaio a Vazio</i>	34
3.1.3	<i>Ensaio com Rotor Bloqueado</i>	35
3.2	Ensaio a Plena Carga	37
4	MATERIAIS E MÉTODOS	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Os motores foram desenvolvidos através de carcaça, núcleo e bobinas, para que possam trabalhar várias horas por dia, aumentando o desempenho das empresas, e aumentando toda a produção. Daí a importância do presente trabalho para um estudo de viabilidade técnica econômica para avaliar a utilização de um motor original de fábrica ou de um motor rebobinado, evidenciando todos os elementos de uma relação de custo /benefício.

1.1 Problemática

Qual a viabilidade técnica e financeira para o MIT (Motor de Indução Trifásico) rebobinado e um MIT original de fábrica?

1.2 Objetivos

O objetivo desse trabalho é proporcionar uma análise comparativa entre rebobinar um motor queimado, ou comprar um novo. Para isso precisamos fazer algumas leituras de parâmetros de um MIT (Motor de Indução Trifásico) reformado e um MIT novo, com auxílio de um analisador de qualidade de energia elétrica e de um multímetro. Faremos uma coleta de dados referente aos dois MIT a serem analisados podendo então comparar os parâmetros elétricos e mecânicos. Daí então chegaremos a tal conclusão.

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho em questão tem como objetivo geral demonstrar apresentar os resultados obtidos através de análise comparativa dos dados coletados em testes entre motores CA assíncronos originais de fábrica e motores CA assíncronos rebobinados, tendo como finalidade o estudo da viabilidade técnica e financeira para maior confiabilidade em relação aos motores rebobinados.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste Trabalho de Conclusão de Curso são apresentar o embasamento teórico sobre área de máquinas elétricas, especificamente motor

indução trifásico assíncrono CA, bem como os resultados obtidos por testes em bancada didática utilizando um MIT 1 cv original de fábrica e um MIT rebobinado.

- Custo inicial
- Capacidade da rede
- Necessidade da correção de fator de potência
- Conjugados requeridos
- Efeito da inércia da carga
- Necessidade ou não de regulação de velocidade
- Exposição da máquina em ambientes úmidos, poluídos e/ou Agressivos

1.3 Justificativa

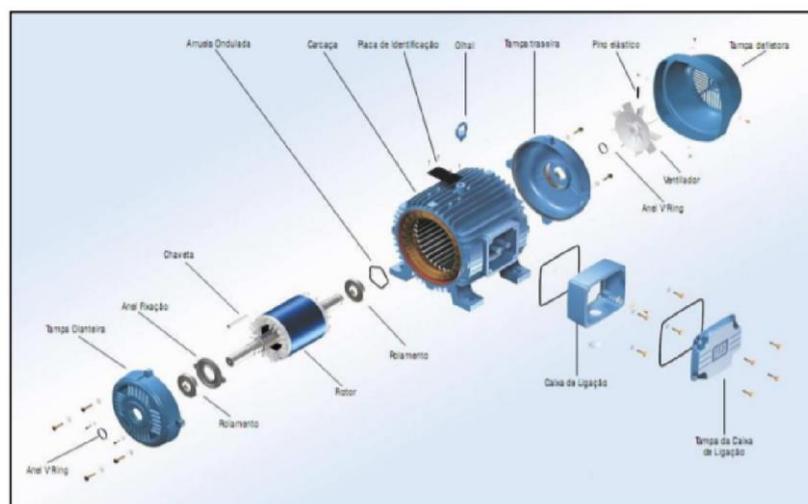
Com esse trabalho veremos se é compensativo sob os aspectos técnico e financeiro rebobinar um motor danificado por tempo de serviço, ou por uma sobrecarga na rede elétrica. Através de análise comparativa no laboratório da faculdade de Patos de Minas chegaremos a uma conclusão sobre os MIT (Motores Trifásicos de Indução), observando seu rendimento, escorregamento e corrente absorvida da rede. Para isso vamos usar um analisador de qualidade de energia, e verificar seus parâmetros nominais, e depois comparar com motor rebobinado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O motor e sua estrutura

O motor trifásico possui uma estrutura conforme demonstrada na figura abaixo: Para isso analisamos como foram desenvolvidos os motores elétricos ao longo da história. A partir da figura podemos determinar sua estrutura e como são feitos os motores de corrente alternada.

Figura 1 - Partes e peças de motor elétrico trifásico



Fonte: (1)

Fazendo uso do analisador, de um alicate amperímetro e de um tacômetro conseguimos mensurar seu rendimento, escorregamento, temperatura e corrente exigida pela máquina. A partir daí iremos definir se compensa reaproveitar os motores danificados, mediante análise. (1)

Figura 2 - Evolução do Motor Elétrico



O motor de indução é uma máquina robusta e de construção simples. A sua vida útil está diretamente associada à vida útil da isolação dos enrolamentos. Nesse sentido, a vida útil da isolação dos enrolamentos é afetada por muitos fatores tais como: umidade, vibrações, ambientes corrosivos e outros. Relevância notável possui, de forma inequívoca, a temperatura de trabalho advinda dos materiais isolantes utilizados. Tem-se que um crescimento de 8 a 10° C na temperatura da isolação, o que reduz sua vida útil pela metade. Quando falamos em redução da vida útil do motor, isso não diz respeito às temperaturas elevadas, quando o isolante se queima e o enrolamento repentinamente é destruído.

A vida útil da isolação (em se tratando de temperatura de trabalho, bem menor do que aquela em que ocorre a queima do material), diz respeito à proximidade do fim da vida útil do isolante, que vai se tornando ressecado, perdendo o poder isolante, não mais suportando a tensão aplicada, produzindo o curto-circuito. A experiência evidencia que a isolação possui uma duração praticamente ilimitada, tão somente se a sua temperatura for mantida em níveis inferiores ao limite de sua classe térmica.

Acima desse valor há uma redução da vida útil da isolação, que sofre impacto em razão do aumento da temperatura de trabalho. Esse limite de temperatura ainda assim é muito mais menor do que aquela em que ocorre a “queima” do isolante, além de depender do tipo de material empregado. Essa limitação de temperatura diz respeito ao ponto de maior temperatura da isolação e não necessariamente a todo o enrolamento. Considera-se, portanto, que basta um “ponto vulnerável” dentro da bobina e ocasionando a inutilização do enrolamento. (1)

2.2 Sistemas e informações

O Motor Trifásico Alto Rendimento Plus pode ser empregado em bombas, ventiladores, moinhos, talhas, compressores, exaustores, britadores e outras aplicações que demandem motores assíncronos de indução trifásicos com a maximização do rendimento e minimização do consumo. CARACTERÍSTICAS: Grau de proteção: IP55 Vedação nos mancais: V'Ring Carcaças: ferro fundido Dreno automático Potências: 1 a 500cv (carcaças 63 a 355M/L) Isolamento: classe "B" (carcaças 63 a 200L); classe "F" (carcaças 225S/M a 355M/L) Fator de serviço: 1.15 Rolamento de esferas (com graxeira a partir da carcaça 250S/M) Rolamento dianteiro de rolos: carcaças 355M/L - 4,6 e 8 polos Categoria: N Tensões: 220/380V, 380/660V (carcaças 63 a 200L) 220/380/440V (carcaças 225 S/M a 355 M/L) Cor: Verde Rall 6002N Tensões: 220/380V, 380/660V (carcaças 63 a 200L) 220/380/440 V (carcaças 225S/M a 355M/L) Cor: Verde Rall 6002.

2.3 Motores elétricos

Os motores de corrente alternada, (AC) têm maior utilização, empregabilidade, em razão de que a distribuição de energia elétrica fornece corrente alternada, pois os motores são construídos de forma a serem usados no campo girante, sendo que o sistema de corrente alternada trifásico possui uma defasagem física de 120° .

Assim, a partir dessa defasagem surge um campo magnético em cada agrupamento de bobinas do motor, sendo que os campos magnéticos gerados formam o que denominamos de *Campo Magnético Girante*. Um par de polos detém o campo de maior intensidade, sendo que a associação vetorial possui o mesmo efeito de um campo girante que se movimenta ao longo do perímetro do estator e que também sofre variações.

De acordo com (Mamede, 2019), os principais tipos motores são:

- Motor síncrono: desempenha uma velocidade sem variações; seu Induzido atrai um campo magnético já pré-definido, aumentando sua força de arraste criado pelo campo girante, quando necessita de uma velocidade constante para uma carga constante e variáveis. Todavia é exigido quando requer uma potência maior,

com torque constante. Ele possui um induzido detentor de um campo constante predefinido e, com isso, melhora a qualidade de resposta ao processo de arraste advindo do campo girante. Esse tipo de motor é empregado quando há a necessidade de velocidades estáveis que estão sob o impacto cargas variáveis. É utilizado também quando se requer grande potência, com torque permanente. (2)

- Motor de indução: Esse, por outro lado, funciona com velocidade estável, variando rapidamente quando uma carga mecânica é aplicada em seu eixo. Com a sua grande simplicidade, robustez e um custo menor, esse motor é o mais usado de todos. Ele se adequa à maioria dos tipos de máquinas elétricas existentes no mercado. Permite ainda o controle de uma velocidade. (2)

- Motores elétricos: A classificação dos motores elétricos vista de forma mais detalhada é alvo de admiração, a ponto de deixar muitos observadores cheios de orgulho dos inventores dessas máquinas:

- Motores CA (corrente alternada)
- Polifásico
- Rotor gaiola ou em curto-circuito
- Fase dividida
- Capacitor de partida
- Capacitor permanente
- Rotor enrolado ou bobinado
- Assíncrono (de indução)
- Monofásico
- Rotor gaiola ou em curto-circuito
- Polos Sombreados
- Dois capacitores
- Rotor enrolado ou bobinado
- Repulsão
- Repulsão de partida
- Síncrono
- Polifásico
- Monofásico
- Ímã permanente
- Histerese
- Relutância
- De passo
- Ímã Permanente
- Relutância variável
- Híbrido

2.4 Manutenção de motores elétricos

Tem-se um número considerável de motores elétricos utilizados na indústria brasileira. Há um grande número de atividades nos mais variados setores da indústria que necessitam de sua utilização. Em razão proporcional à enorme utilização está a

necessidade de manutenção dos motores elétricos. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), uma pequena parte de motores utilizados nas indústrias brasileiras foram fabricados em 2009. Sendo assim, há um vasto campo para o recondicionamento e manutenção. (3)

A ANEEL afirma ainda que indústrias brasileiras gastam 43,7% da energia produzida, só que 68% dessa energia é consumida pelos motores elétricos. Entretanto 30% da eletricidade produzida aqui é consumida somente com os motores elétricos. (3)

2.4.1 Limpeza

Ao se fazer a limpeza com frequência nos motores elétricos, a sua manutenção fica mais simples. Portanto, devemos limpá-los de uma melhor maneira, pois com isso, evitamos o acúmulo de poeira, óleo e outros detritos. Quando for limpar pode-se usar escovas ou panos macios. (4)

Caso essa poeira não for abrasiva recomenda-se a utilização do ar comprimido para a retirada dessa poeira, para só então eliminar o pó retido na tampa traseira do rotor, devendo ser observado se as aletas do ventilador estão girando livre para se obter uma ventilação adequada a fim de se proteger o motor elétrico. (4)

2.4.2. Lubrificação

A lubrificação tem por objetivo prolongar a vida útil dos mancais dos motores elétricos. Assim, quando for realizar essa manutenção nos motores elétricos torna-se necessário observar o estado de conservação dos mancais para então substituí-los e evitar possíveis danos futuros, para depois iniciar essa lubrificação e então começar a fazer um exame nos rolamentos. Os mancais demandam uma lubrificação com graxa apropriada que controla sua temperatura, que não pode ultrapassar 60°C onde essa temperatura é de 40°C.

Além disso, é recomendado o uso de um termômetro ao lado desse equipamento para o monitoramento dessa temperatura, que não pode atingir mais de 60°C. Além disso, os rolamentos têm que ser lubrificados com graxa para evitar o

contato direto do eixo com o corpo da estrutura metálica do equipamento, a fim de se evitar possíveis desgastes e corrosões.

2.4.3. Intervalos de relubrificação

Cabe ao operador a responsabilidade de ficar atento com à relubrificação dos motores observando a placa que vem exposta no corpo das máquinas elétricas. Essa lubrificação do rolamento dos motores é válida se seguir corretamente todas as informações dos fabricantes de motores elétricos. Ali os fabricantes informam o tipo de graxa e a quantidade que deve ser utilizada.

Caso não haja essa informação expressa no manual do fabricante, cabe ao operador deve preencher com graxa até a metade do eixo preenchendo esses espaços vazios entre o corpo girante. Recomenda-se ainda que, ao se realizar esse processo torna-se imperioso ficar atento a fim de que não adentre poeira ou quaisquer outros objetos que possam danificar os eixos dos motores e os rolamentos, comprometendo sua vida útil. (3)

2.4.4 Qualidade e quantidade de graxa

A lubrificação eficiente do motor elétrico demanda o uso de todos os tipos de graxa corretos, bem como a quantidade adequada. Importante lembrar que graxas de base diferente jamais devem passar pelo processo de mistura. E ainda, a lubrificação excessiva ou reduzida pode causar prejuízos ao desempenho do motor elétrico. (5)

O excesso de graxa pode provocar o aumento de temperatura do motor, resultando na resistência da movimentação das partes rotativas e podendo causar perdas ao equipamento quanto às características da lubrificação. A lubrificação em excesso pode ainda ocasionar o vazamento e facilitar a entrada da graxa na bobina e em outras partes do motor. (5)

2.4.5 Substituição de rolamentos

Havendo a necessidade de se trocar os rolamentos dos motores. Exige-se que as trocas sejam feitas por profissionais capacitados, a fim que de não haja prejuízos aos equipamentos, porque o processo exige a desmontagem total do motor. A troca em si não é difícil, porém demanda o emprego de ferramentas adequadas, dentre elas o extrator de rolamentos. Importante ainda lembrar que, com o motor totalmente aberto, deve-se realizar uma limpeza geral, a fim de assegurar o bom funcionamento dos motores bem como evitar danos futuros.

Outro aspecto relevante é retirar os rolamentos da embalagem no exato momento da troca e, ainda, verificar antes da instalação dos novos rolamentos se o encaixe é o mesmo e se não apresenta nenhum sinal de avarias ou algum resíduo oriundo de bancada. Os rolamentos não podem sofrer nenhum tipo de golpe, sob risco de serem danificados. Para se evitar essa batida sobre os rolamentos deve-se apoiar bem os motores sobre uma bancada para depois prensar e, para bater o rolamento, isso deve ser feito através do anel interno do motor. (6)

2.4.6 É obrigatório fazer manutenção mensalmente

A manutenção mensal em motores elétricos visa garantir o bom funcionamento. A manutenção regular que segue um protocolo reconhecido melhora o desempenho dos motores. A manutenção preventiva é uma das maneiras mais eficientes das empresas prolongarem a vida útil dos motores elétricos. Daí, portanto, a importância de se monitorar os motores elétricos durante todo o mês, através de uma leitura dos equipamentos a fim de se promover melhorias a partir de uma manutenção preventiva.

A manutenção dos motores elétricos exige planejamento e preparação pois envolve uma mão-de-obra qualificada na maioria dos casos, até mesmo quando é necessária a retirada dos motores dos locais onde eles estão alocados. (7)

A indústria requer um ótimo desempenho de motores elétricos, exigindo da empresa mantenedora a máxima eficiência ao menor custo. Tudo isso porque a produção industrial demanda eficiência a custos cada vez menores. A não adoção de medidas de manutenção preventiva mensal pode incorrer em aumento de custos por

maior demanda de energia. Notadamente há que se ter uma preocupação constante com o estado de manutenção desses motores, a fim de que se promova a troca, quando necessária. (7)

2.5 Causas de baixa eficiência em motores elétricos Sistema Atual

Um motor superdimensionado demanda um consumo de energia maior do que um motor com a potência ajustada. Isso porque ele trabalha numa condição que em nada lembra aquela para a qual foi projetado, numa condição de ineficiência. Um motor em condição normal deve trabalhar usando entre 75 e 100% de sua potência para ser mais eficiente. Todavia, nas indústrias é muito comum o uso de motores além de sua potência nominal. Por conseguinte, isso resulta em desperdícios de energia elétrica. Ajustes efetuados nesses motores tendem a reduzir em cerca de 14 % o consumo de energia elétrica. Motores superdimensionados trabalham com um fator de potência muito baixo, sendo que isso pode resultar em multa pela concessionária de energia elétrica, tornando-se necessário um ajuste nas instalações para a correção de fator de potência. (8)

Um sinal claro de desvio ocorre quando os motores estão operando "frios". O que algo interessante para as equipes de manutenção representa, de fato, um indicador de que há baixa produtividade em sua operação, com todas as suas consequências descritas.

A redução da potência de um motor muitas vezes não exige nem modificações na base ou acoplamento, pelo fato de que uma carcaça de igual tamanho alcança mais de uma potência. Todavia é uma atividade que deve ser realizada com critérios, visando assegurar a criteriosa avaliação das condições tidas como mais críticas do processo. Tem-se que o tipo de equipamento acionado pelo motor determinará se o a necessidade ou não de acompanhamento de uma partida. (8)

De qualquer forma, trata-se de uma chance ímpar e deve ser explorada. Diretriz importante a ser seguida é averiguar os motores que operam com uma corrente em níveis muito inferiores à sua corrente nominal. Em caso de dúvidas o fabricante pode auxiliar. (8)

2.6 Normas ABNT para os motores elétricos de indução trifásicos

“A ABNT é uma entidade privada, sem fins lucrativos, cabendo a ela coordenar, orientar e supervisionar todo o processo de elaboração de normas brasileiras, bem como elaborar, editar e registrar as referidas normas (NBR)”.

Associações internacionais como a ISO (*International Standard Organization*) e IEC (*International Electrotechnical Commission*) têm a responsabilidade de elaborarem as normas e, a partir delas a ABNT cria suas diretrizes e instruções. O projeto, fabricação e elaboração de testes seguem das máquinas seguem as normas ABNT conforme a Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Normas ABNT para Motores de Indução Trifásicos

NORMA ABNT	DESCRITIVO	ESPECIFICAÇÃO
NBR 7094/2003	Máquinas elétricas Girantes; Motores de indução.	Determina requisitos básicos a serem Tendidos Pelos motores de indução;
	Máquinas elétricas Girantes – Parte 1 –	Normatiza procedimentos a serem Seguidos na execução de ensaios dEstimados à

NBR 5383/1983	Motores de indução Trifásicos – ensaios.	
NBR 5432/1983	Máquinas elétricas Girantes – Dimensões e Potências nominais – Padronização.	Normatiza dimensões de fixação e de ponta de eixo para máquinas de corrente alternada;
NBR 5457/1980	Eletrotécnica e Eletrônica – Máquinas girantes – Terminologia	Define termos relacionados com máquinas Elétricas girantes, que funcionam por indução Eletromagnética;
NBR 7034/1981	Materiais isolantes Elétricos – Classificação Térmica – Classificação.	Estabelece Classes e Temperatura dos materiais isolantes elétricos empregados em máquinas, Aparelhos e Equipamentos elétricos com base na temperatura Máxima que podem suportar em condições normais de operação ao longo de sua vida útil;

Fonte: (9)

2.6.1 Características Principais

Para Chapman (10) as principais características nominais de um motor de indução localizam-se na placa de identificação, conforme mostra o anexo C e com esses dados. Pode-se observar o desempenho de cada tipo de motor para o seu emprego na operação desejada.

2.6.2 Velocidade Nominal

Segundo WEG (11) “a velocidade nominal é definida como sendo a velocidade (RPM) do motor trabalhando na potência nominal, sob tensão e frequência nominal.

Este depende do escorregamento e da velocidade síncrona.” Logo a velocidade depende, portanto, da distribuição e colocação das bobinas no estator do motor, que respondem pela quantidade de polos (9).

As equações (1) e (2) abaixo são utilizadas para determinar a velocidade nominal (V_n) (11).

$$V_s = \frac{120 * f}{P}$$

$$V_n = V_s * \left(1 - \frac{s\%}{100}\right)$$

Onde:

V_s = Velocidade síncrona (RPM); f = Frequência (Hz); p = Número de polos; s = Escorregamento (abordado no capítulo 2.6.5).

2.6.3 Corrente Nominal

“É a corrente cujo motor em funcionamento à potência nominal, absorve da rede quando funciona à potência nominal, sobtensão e frequência nominal. O rendimento e o fator de potência do motor são determinantes no valor da corrente nominal” (11).

Segundo a ABNT (9) para o seu melhor rendimento e durabilidade, desaconselha-se que o motor trabalhe numa faixa acima da corrente nominal.

2.6.4 Rendimento

De acordo com WEG (11) o rendimento do motor é calculado no projeto, sendo definido pela razão da potência mecânica no eixo pela potência elétrica absorvida da rede. Portanto, é possível se determinar o rendimento do motor através do método direto ou circuito equivalente. “É o rendimento que o motor apresenta sob carga,

tensão e frequência nominais e condições de ambiente determinadas pelo fabricante” (9).

A importância do alto rendimento do motor pode ser explicada por dois motivos: Em primeiro lugar porque o alto rendimento representa perdas baixas e, portanto, um menores incidências de aquecimento do motor. Em um segundo momento porque o maior rendimento implica em menor a potência absorvida da rede, portanto, menor o custo da energia elétrica paga. O rendimento varia com a carga solicitada do motor (11).

Segundo WEG (12) a equação (3) determina o rendimento (de um motor de indução):

$$\eta = \frac{P_{mec} * 736}{P_{in}} * 100$$

Onde:

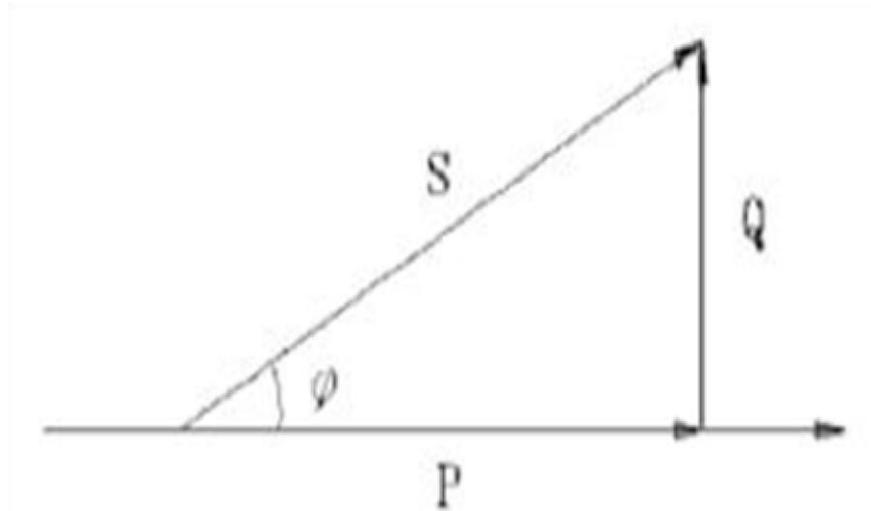
P_{mec} = Potência mecânica no eixo (CV);

P_{in} = Potência de entrada consumida pela rede (W).

2.6.5 Fator de Potência

Segundo WEG (11) normalmente o motor consome potência ativa, que responde pelo trabalho mecânico e também potência reativa, ou seja, que não produz trabalho, mas é de suma importância para magnetização das chapas que compõem o estator. De acordo com o diagrama da Figura 3_abaixo, os vetores P, Q e S representam, pela ordem, a potência ativa, a potência reativa e a potência aparente que é a soma das potências ativa e reativa. “A relação entre a potência ativa, medida em kW e a potência aparente medida em kVA, chama-se fator de potência”.

Figura 3 - Triângulo de Potências



Fonte: WEG (11).

Com o objetivo de otimizar o aproveitamento do sistema elétrico brasileiro, reduzir o trânsito de energia reativa nas linhas de transmissão, sub- transmissão e distribuição, a norma vigente estabelece como referência para o fator de potência das cargas 0,92. Tem-se que a elevação do fator de potência aumenta a disponibilidade de potência ativa no sistema, uma vez que a energia reativa impõe limites à capacidade de transporte de energia útil. (11).

A equação (4) abaixo determina o fator de potência (FP) de um motor de indução (12).

$$FP = \frac{P_{in}}{S} = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} * I_{in} * V_{in}}$$

Onde:

P_{in} = Potência de entrada consumida pela rede (W);

I_{in} = Corrente de entrada (A); V_{in}

= Tensão de entrada (V).

2.6.6 Escorregamento

Segundo WEG (11), num motor elétrico assíncrono a rotação do rotor sempre será menor que a rotação do campo girante. Desse modo haverá corrente e torque induzidos. O escorregamento representa a diferença entre a velocidade de rotação do rotor e do campo girante do estator. “O escorregamento é uma característica inerente ao motor, sendo considerado normal dentro de uma faixa até 5%” (9).

A maior diferença entre as velocidades do rotor e do campo girante, proporcionalmente aumentar o conjugado e assim as correntes induzidas e os campos produzidos serão maiores. Portanto, quanto maior a carga, menor é a rotação do rotor. Não havendo o rotor tende a girar na rotação síncrona. “A frequência da corrente induzida no rotor se equivale ao escorregamento vezes à frequência do estator” (11).

A vazio o escorregamento é muito pequeno. Portanto, assim como no rotor, sua reatância e sua f.e.m. induzida apresentam-se muito pequenas. Assim, a corrente do rotor é reduzida, o suficiente para a produção do torque necessário a vazio. E ainda, o fator de potência é muito baixo e em atraso, uma vez que a corrente que circula pelo motor destinasse quase que tão somente à sua magnetização.

A aplicação de uma carga mecânica ao rotor resulta num pequeno decréscimo da velocidade. Esse pequeno decréscimo na velocidade provoca um aumento no escorregamento, na frequência da corrente rotórica, na sua reatância, bem como na sua força eletromotriz induzida. O aumento da corrente induzida no rotor projeta um aumento da corrente primária do estator (componente esta que produz potência). Assim, uma corrente maior será produzida no estator, com um melhor fator de potência, vindo a produzir mais potência mecânica e requisitar mais potência da linha (11).

Segundo WEG (11) o equilíbrio entre o conjugado do motor e o conjugado resistente da carga ocorre em razão da plena carga do motor de indução. Nesse caso, o fator de potência varia entre zero (motores de menor porte) a 0,95 (motores de maior porte). A maior a carga remete ao escorregamento em medida proporcional, a um aumento na frequência da corrente induzida do rotor e na reatância do mesmo que ao aumentar provoca uma redução no fator de potência. “Portanto, com cargas acima da

plena carga, o fator de potência tende a se aproximar de um máximo e então tende a decrescer rapidamente”.

Para WEG (12) o escorregamento (s) é determinado pela equação (5) abaixo.

$$s\% = \frac{V_s - V_n}{V_s} * 100$$

Onde:

V_s = Velocidade síncrona (determinada pela equação (1) (RPM); V_n = Velocidade nominal no eixo (RPM).

2.6.7 Perdas

De acordo com ABNT (9) toda a energia desperdiçada para a geração de trabalho é considerada como perdas e nos motores de indução são indicadas por:

- Perdas por efeito joule, aquecimento no rotor e estator;
- Perdas no núcleo;
- Perdas mecânicas por atrito.

2.6.7.1 Perdas por Efeito Joule

Temos que as perdas por efeito joule ocorrem “em razão da circulação de corrente pelos enrolamentos do estator e, ainda, pelas barras do rotor, no caso para motores trifásicos com rotor com gaiola de esquilo” (13).

A corrente ao circular pelo rotor e estator, se depara com a resistência do próprio condutor. Isso implica em perdas pelo aquecimento do mesmo (9).

2.6.7.2 Perdas no Núcleo

Segundo Cardoso (13) as perdas no núcleo são compostas pelas:

- Perdas por histerese, “resultam da energia utilizada para orientar os dipolos magnéticos do material magnético”;
- Correntes parasitas, “resultam da circulação das correntes induzidas nas laminações do estator”.

2.6.7.1 *Perdas Mecânicas*

As perdas mecânicas são da ordem de 5% a 8 % do total de perdas e advêm do “atrito dos mancais que compõem o conjunto rotativo da máquina” bem como das perdas de ventilação que “dizem respeito ao acionamento do ventilador, via de regra acoplado ao eixo da máquina, a fim de refrigerar o mesmo” (13).

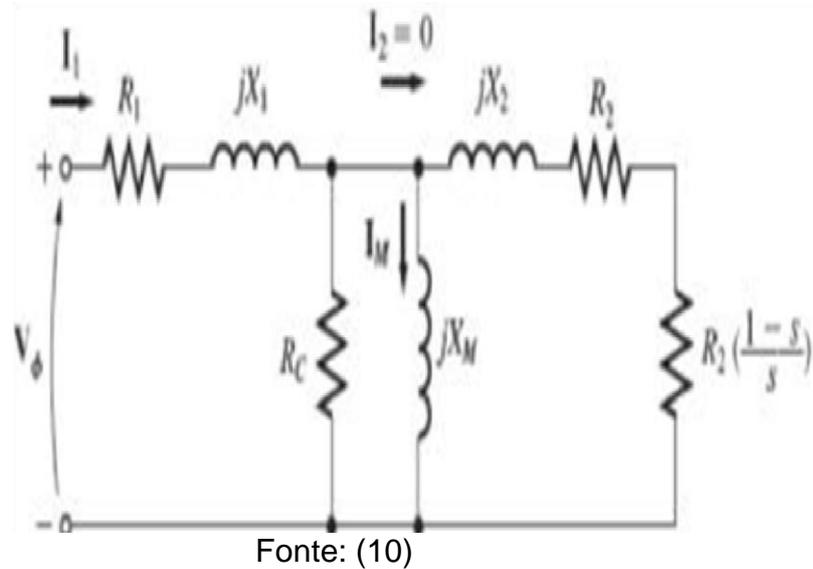
2.7 **Ensaio CC para a Resistência do estator**

Este ensaio é utilizado com o intuito de definir o nível de resistência dos enrolamentos do motor de indução. Uma tensão CC é aplicada em dois de três terminais do motor que está ligado em estrela (Y). Como a corrente aplicada é contínua não há indução no rotor, logo “a única grandeza que limita o fluxo de corrente no motor é a resistência de estator, a qual pode ser determinada.

A tensão CC é aplicada aos terminais até a corrente se aproximar do valor nominal, induzindo o aquecimento dos enrolamentos até alcançar a temperatura de funcionamento. Como os enrolamentos estão conectados em série (estrela) e a tensão está sendo aplicada somente em dois terminais, tem-se que a resistência total pela qual a corrente circula é $2 \cdot R_1$. Para determinar o valor de R_1 utiliza-se a equação (5) abaixo, sendo que V_{cc} é a tensão aplicada nos terminais e I_{cc} é a corrente nominal.

O valor encontrado para R_1 pode ser empregado para definir determinar as perdas no cobre do estator quando o motor está operando a vazio e as perdas rotacionais. “O valor de R_1 calculado porém este modo tem baixa exatidão uma vez que ignora o efeito pelicular que ocorre no momento em que uma tensão CA é aplicada aos enrolamentos” (10).

Figura 4 - Circuito equivalente de uma fase de um MIT

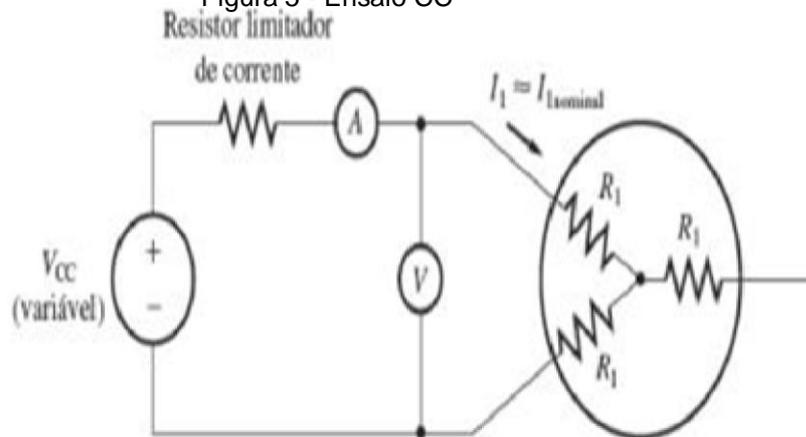


Segundo Chapman (10) os elementos mostrados neste circuito são:

- R_1 , resistência do estator;
- X_1 , reatância de dispersão do estator;
- R_C , resistência para perdas no núcleo;
- X_M , reatância de magnetização;
- R_2/s , resistência que modela as perdas no cobre do rotor e a Potência mecânica de saída em função do escorregamento; ■ X_2 , reatância de dispersão do rotor.

$$R1 = \frac{V_{cc}}{2 * I_{cc}}$$

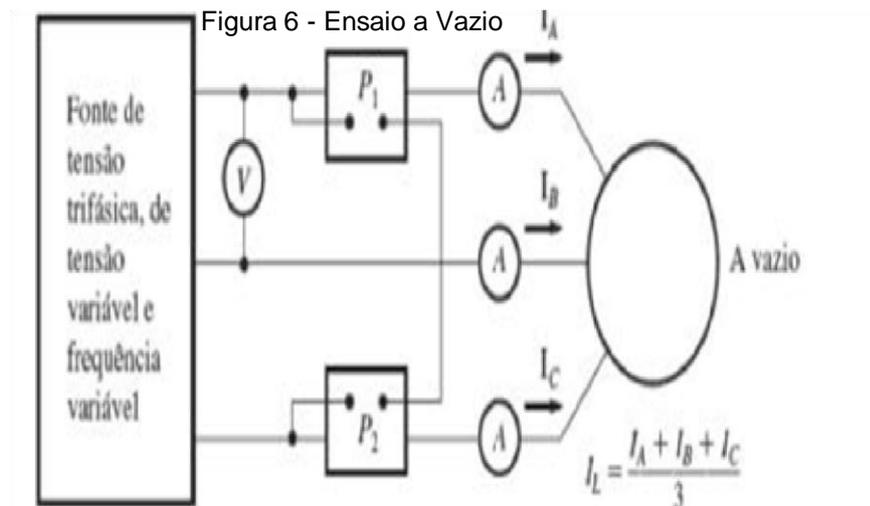
Figura 5 - Ensaio CC



2.7.1 Ensaio a Vazio

O objetivo deste ensaio é medir as perdas rotacionais de um motor de indução trifásico e obter dados sobre a corrente de magnetização.

A Figura 6 abaixo mostra o esquema do circuito. São utilizados dois wattímetros, três amperímetros e um voltímetro e, em seguida, o motor é acionado sem nenhuma carga acoplada. Quando o motor é acionado a vazio o escorregamento fica muito próximo de zero e a potência consumida diz respeito associada às perdas mecânicas. “Com seu escorregamento muito pequeno, a resistência correspondente à potência convertida, $R_2(1 - s)/s$, é muitíssimo maior do que a resistência R_2 correspondente às perdas no cobre do rotor e muito maior do que a reatância X_2 do rotor” (10).



No motor acionado a vazio, a potência medida na entrada precisa ser semelhante às perdas do motor. Como o motor não possui potência no rotor, a corrente induzida é quase nula. Com isso as perdas no cobre do rotor são de menor importância. Utilizando-se a equação (7) e (8) abaixo é possível determinar tanto as perdas no cobre (PSCL) por fase do estator quanto as perdas no núcleo (Pcore) do MIT (10).

$$P_{SCL} = I^2 * R_1$$

Onde I_1 é a corrente a vazio medida na entrada do MIT e R_1 é determinado pelo

$$P_{core} = P_{in} - P_{mec} - P_{SCL}$$

Onde P_{in} é a potência medida na entrada e P_{mec} corresponde às perdas mecânicas, definidas através da relação (pois o motor está operando a vazio sem nenhuma carga aplicada ao eixo). Com a determinação dos valores das perdas pode-se encontrar os parâmetros de magnetização (RC e XM) através da equação (9), (10) e (11) abaixo.

$$RC = \frac{V_1^2}{P_{core}}$$

$$|ZM| = \frac{V_1}{I_1 \text{ NOM}}$$

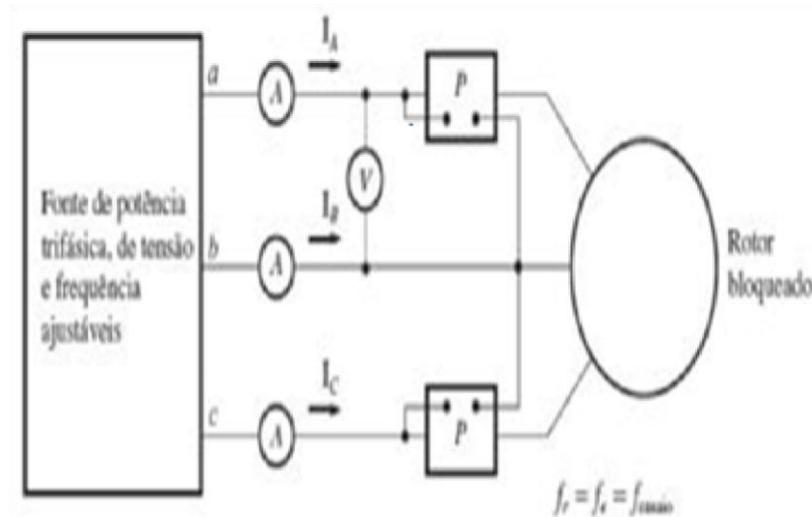
$$XM = \frac{ZM * RC}{\sqrt{RC^2 - MZ^2}}$$

De acordo com Chapman (10) “a corrente necessária ao estabelecimento de um campo magnético é bem elevada, havendo uma alta relutância do entreferro. Assim, a reatância XM será bem menor do que as resistências em paralelo com ela e, por conseguinte, o fator de potência geral de entrada será muito baixo”.

2.7.2 Ensaio de Rotor Bloqueado

Conforme mostra a Figura 7 abaixo, este ensaio consiste em travar o eixo do motor e aplicar uma tensão CA nos terminais do estator até que esse valor se aproxime da corrente da nominal. Este ensaio normalmente determina a resistência total do circuito equivalente do motor de indução. Os valores da tensão, corrente e potência, são medidos conforme análise, ocorrendo apenas quando a corrente se aproximar do valor nominal. E então tem-se o rotor travado e, portanto, o valor do escorregamento é $s = 1$ e com isso a resistência R_2/s é igual a R_2 (10).

Figura 7 - Ensaio de Rotor Bloqueado



Fonte: Chapman (10).

“Os valores de R_2 e X_2 são muito baixos. Portanto, quase toda a corrente de entrada circulará através delas, não vindo a fluir através da reatância de magnetização X_M , porque essa possui valor muito maior”. Com isso o circuito resultante se assemelha a uma série entre X_1 , R_1 , X_2 e R_2 . Durante o funcionamento em operação normal e em condições de partida a frequência no estator e respectivamente no rotor é igual a 60 Hz e o escorregamento está na faixa entre 2% a 4% com frequência no rotor de 1 a 3 Hz.

O cálculo dos parâmetros desse ensaio exige que primeiro se encontre o valor de (P_{in}) conforme a equação (12) abaixo:

$$P_{in} = \sqrt{3} * V_1 * I_{1nom} * \cos \phi$$

Onde V_1 é a tensão medida nos ensaios e I_{1nom} se traduz na corrente nominal de placa do motor. A partir daí é possível obter o fator de potência (FP) do rotor bloqueado através da equação (13) abaixo:

$$FP = \frac{P_{in}}{V_1 * I_{nom}}$$

Através das equações (14) e (15) encontra-se o valor da impedância total e do ângulo do circuito equivalente do motor de indução com o rotor bloqueado (rb), conforme abaixo:

$$|Z_{rb}| = \frac{V_1}{I_{1nom}}$$

$$Z_{rb} = R_{rb} + jX_{rb} = |Z_{rb}| * \cos\theta + j|Z_{rb}| * \sin\theta$$

Ao se determinar a impedância na forma complexa, é possível separar a parte real da imaginária, sendo possível definir a resistência (R_{rb}) e a reatância (X_{rb}) do rotor bloqueado conforme demonstrado nas equações (16) e (17). (16):

$$R_r = R_{rb} + R_2$$

A equação (17) mostra que, isolando R_2 é possível obter o valor da resistência do rotor.

$$R_2 = R_{rb} - R_1$$

Onde R_1 foi determinado no ensaio CC no capítulo 2.7.1 já visto.

$$X'_{rb} = X_1' + X_2'$$

Segundo Chapman (10) “como a reatância é diretamente proporcional à frequência, a reatância total equivalente, na frequência normal de funcionamento”, é determinada pela equação (19) abaixo:

$$X_{rb} = \frac{f_{nom}}{f_{ensaio}} * X'_{rb} = x_1 x_2$$

Onde f é a frequência nominal (50 ou 60 Hz) e f_{ensaio} diz respeito à frequência utilizada com o rotor bloqueado durante os ensaios para se obter as reatâncias X_1 e X_2 em função de X_{RB} .

Tabela 2 - Parâmetros nominais dos motores

PARÂMETROS NOMINAIS MOTOR 1CV WEG W22 PLUS	
VELOCIDADE NOMINAL	3420 RPM
TENSÃO NOMINAL	220/380 V
CORRENTE NOMINAL	2,91/1,68A
REDIMENTO	80,50%
FATOR DE POTENCIA	0,84

Fonte: os próprios autores

3.1 Ensaios para Determinação do Circuito Equivalente do Motor de Indução

Os ensaios realizados para definição do circuito equivalente do motor indução foram realizados em laboratório mediante o emprego de wattímetros, voltímetros e amperímetros para a medição. Realizou-se três ensaios distintos visando a definição dos valores dos parâmetros, sendo eles:

- Ensaio em CC, onde se determina a resistência dos enrolamentos do estator;
- Ensaio a vazio, utilizado para determinar as perdas do motor e os parâmetros do ramo de magnetização;
- Ensaio com rotor bloqueado, onde se obtêm a impedância do estator e rotor.

Os circuitos equivalentes dos motores de indução testados mostraram-se relevantes para a condução da análise da operação, bem como para se efetuar o cálculo de desempenho de cada motor.

3.1.1 Ensaio em CC

O ensaio em CC destina-se à determinação da resistência dos enrolamentos do estator. Para esse ensaio o motor é ligado em estrela e recebe alimentação em apenas dois terminais mediante o uso de uma fonte de corrente contínua ajustável

conforme a Figura 8. A tensão aplicada é ajustada até que a corrente do motor se aproxime da nominal, a fim de que a bobina do estator aqueça na temperatura semelhante a de operação normal. A corrente e tensão aplicada foi ajustada pelo voltímetro e o amperímetro já integrado à fonte. (14)

Figura 8 - Ensaio de CC



Fonte: (15)

A partir das medições da corrente e da tensão aplicada no estator, pode-se calcular a resistência do estator (R_1) por meio da equação (1). O valor encontrado para cada ensaio (ver apêndice B) não é totalmente preciso, pois a tensão contínua aplicada não possui o mesmo efeito pelicular que a tensão alternada. A Tabela 4 exibe os resultados obtidos nos ensaios utilizando os motores de 1 CV 4 polos antes e após ser rebobinado.

Tabela 3 - Dados obtidos com ensaio CC

DADOS OBITIDO COM ENSAIO CC						
MOTOR ORIGINAL				MOTOR REBOBINADO		
MOTOR 1CV 4 POLOS				MOTOR 1CV 4 POLOS		
I_{cc} (A)	V_{cc} (V)	R_1 (OHMS)		I_{cc} (A)	V_{cc} (V)	R_1 (OHMS)
	2,91	32	93,12	2,91	31,5	91,665

Fonte: os próprios autores

3.1.2 Ensaio a Vazio

O ensaio a vazio busca definir os parâmetros de magnetização do circuito interno do motor e as perdas no cobre, no núcleo e mecânicas, devendo o motor ser ligado a uma fonte trifásica variável, sem nenhuma carga no eixo.

Como o motor está operando sem nenhuma carga aplicada ao eixo a velocidade do rotor equipara-se à velocidade do campo girante do estator, o escorregamento é igual a zero e, ainda, a potência consumida na entrada é igual às perdas no cobre, no núcleo e mecânicas.

Durante o ensaio, a tensão deve ser gradativamente aplicada, a partir do zero e aumentando até o rotor começar a girar. Nesse instante inicial a potência total consumida pelo motor relaciona-se às perdas mecânicas. Logo a seguir, a tensão deve ser elevada de forma gradativa a fim de que sejam realizadas as medições até chegar ao valor nominal do motor. Para o ensaio a vazio foram houve a necessidade de utilização de um wattímetro e alicate amperímetro conforme a Figura 9 abaixo.

Figura 9 - Esquema para Medição do Ensaio a Vazio



Fonte: (16)

A tensão medida (V_1) foi dividida por raiz de três e os valores das potências dos dois wattímetros foram somados e divididos por três (P_{in}), ambos com o intuito de se obter os valores por fase, mas no caso do motor de 7,5 CV 4 polos a tensão não foi dividida por raiz de três e sim a corrente, uma vez que o mesmo se encontra e ligado em triângulo. Após a realização de todas as medições e as conversões dos mesmos para os valores de fase tornou-se possível a realização dos cálculos das perdas no núcleo, no cobre e mecânicas.

Tabela 4 - Dados obtidos ensaios vazios

DADOS OBITIDO COM ENSAIO Á VAZIO						
MOTOR ORIGINAL		MOTOR REBOBINADO		MOTOR 1CV 4		
POLOS	MOTOR 1CV 4 POLOS					
V_1 (V)	I_1 (A)	P_{in} (W)	V_1 (V)	I_1 (A)	P_{in} (W)	
127,3	1,7	200	127,3	1,6	196	

Fonte: os próprios autores

A análise dos dados obtidos no ensaio a vazio conforme a Tabela 3 acima permitiu observar que a corrente e a potência de entrada consumida são menores no motor rebobinado. Pode-se concluir, a partir daí, que neste caso ocorreu uma pequena redução nas perdas.

3.1.3 Ensaio com Rotor Bloqueado

O ensaio com rotor bloqueado possui a finalidade de definir os valores das impedâncias do estator e rotor, conforme o esquema da Figura 7.

O rotor (eixo) do motor deve ser travado a fim de que não possa girar. Com o rotor totalmente bloqueado, torna-se necessária a aplicação de uma tensão nos terminais do estator, iniciando de zero e gradativamente aumentando até que a corrente que circula nas bobinas do motor alcance o valor nominal.

Com o rotor totalmente inerte a velocidade é nula, não existindo as perdas mecânicas. Por outro lado, as perdas no núcleo são de menor importância por conta da tensão reduzida que é aplicada neste ensaio. Desse modo toda a potência de entrada absorvida pelo motor é inerente às perdas no cobre.

Fez-se a conversão de dados de linha medidos para valores de fase, a tensão (V_1) foi dividida por raiz de três e a potência resultante (P_{in}) entre a soma dos valores medidos pelo wattímetro foi dividida por três. Para a realização deste ensaio o rotor do motor foi travado com o auxílio de um alicate de pressão atrelado ao eixo e escorado sobre a bancada do laboratório. Esse ensaio exigiu o emprego de um amperímetro e de dois wattímetros conforme a Figura 10.

Figura 10 - ensaios rotor bloqueado



Fonte: (16)

De acordo com os dados obtidos na Tabela 5 tornou-se possível averiguar se houve um aumento na perdas do cobre. Os dados obtidos através das medições realizadas no ensaio com rotor bloqueado serviram para determinar as impedâncias do estator e do rotor. Para a obtenção dos valores das reatâncias X_1 e X_2 em função de X_{rb} utilizou-se os valores para cada motor de acordo com a sua classe de projeto.

Tabela 5 - Dados obtidos com ensaio rotor bloqueado

DADOS OBITIDO COM ENSAIO ROTOR BLOQUEADO						
MOTOR ORIGINAL		MOTOR REBOBINADO		MOTOR 1CV 4		
POLOS		MOTOR 1CV 4 POLOS		V1 (V)	I1 (A)	Pin (W)V1
(V)	I1 (A)	Pin (W)				
19,5	2,91	100	18,3	2,91	119	

Fonte: os próprios autores

A análise da tabela acima permite concluir que após a rebobinagem o circuito interno do motor sofre alterações. A partir dos dados medidos e os cálculos é possível concluir que mesmo sofrendo alterações em seu circuito equivalente, a variação é irrelevante. Relevante sim é verificar se essas alterações mínimas geram perturbações para o motor quando em operação com carga, haja visto que após o rebobinamento o mesmo deve preservar as mesmas características.

3.2 Ensaios a Plena Carga

Os ensaios a plena carga foram realizados no laboratório de acionamento automação da Faculdade Cidade Patos Minas Campus unidade IV JK, com o objetivo principal de medir os parâmetros do motor quando submetido à carga máxima no eixo. Para realizar os ensaios foi utilizada uma correia para canal A e polia de 90mm de alumínio canal A. Os motores foram presos a um bancada conforme a 10 abaixo, por meio de dispositivo feito com um barra roscada de ½" tracionando a correia contra a polia com a finalidade de gerar um atrito forte no eixo simulando uma carga.

Os motores foram fixados na mesa de teste durante os ensaios. A correia foi tracionada gradativamente gerando um atrito cada vez mais forte até que a corrente medida fosse igual à nominal de placa. Com isso concluímos que nesse instante a potência mecânica no eixo é igual a nominal.

Utilizou-se um wattímetro, um tacômetro (para medir a velocidade da rotação do eixo) e um amperímetro para medição dos valores durante os ensaios. Os primeiros valores medidos nos ensaios foram obtidos através dos motores com bobinagem original de fábrica, vindo a servirem de base para os testes realizados em momento imediatamente posterior ao processo de rebobinagem.

Figura 11 - ensaios a plena carga



Fonte: (17)

É importante frisar que mesmo se cercando dos devidos cuidados, não é possível se ter uma exatidão de quanta força foi aplicada no primeiro teste e repeti-la com certa precisão. Concluímos que motores que passaram pela rebobinagem apresentaram um pequeno desvio que pode ser pra mais ou pra menos, sendo que a efetividade dos ensaios propiciou uma simulação prática de carga similar tanto nos motores originais quanto nos rebobinados.

Tabela 6 - Dados obtidos com ensaio a plena carga

DADOS OBITIDO COM ENSAIO Á PLENA CARGA					
MOTOR ORIGINAL			MOTOR REBOBINADO		
MOTOR 1CV 4 POLOS			MOTOR 1CV 4 POLOS		
V1 (V)	I1 (A)	Pin (W)	V1 (V)	I1 (A)	Pin (W)
127,3	2,91	270	127,3	2,91	290

Fonte: os próprios autores

Tendo como ponto de partida os valores obtidos nos ensaios a plena carga para cada motor, houve a possibilidade de se confirmar uma mudança nas características operacionais das máquinas após a rebobinagem, sendo que nesse caso houve acréscimo nos valores de seu parâmetros.

A comparação entre os valores de cada ensaio possibilitou observar que em todos os casos a mudança é pouco relevante, todavia, para determinar se essas

variações nos valores dos parâmetros da máquina iriam afetar o seu comportamento, tornou-se necessária uma análise comparativa entre os parâmetros que envolvem a eficiência e o consumo de cada motor. A partir daí então, foi possível determinar os valores de fator de potência (FP), escorregamento e rendimento para cada motor. E para o cálculo das perdas foi utilizada a equação (20) abaixo:

$$Perdas = P_{in} - (P_{mec} * 763)$$

Onde:

P_{in} = Potência de entrada medida (W);

P_{mec} = Potência mecânica nominal de placa (CV).

Tabela 7 - Dados obtidos pelos cálculos

PARÂMETRO	MOTOR ORIGINAL	MOTOR REBOBINADO
FATOR DE POTÊNCIA		
RENDIMENTO (%)		
ESCORREGAMENTO (%)		
PERDAS (W)	74	114,7

Fonte: os próprios autores

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho utilizou o método da pesquisa qualitativa, em publicações, livros, periódicos e artigos publicados em sites sobre o tema.

Além disso, desenvolveu-se no laboratório da Faculdade Patos de Minas o experimento e comparações de parâmetros entre motores elétricos C. A. de indução originais de fábrica e em motores rebobinados. Além disso, com a utilização de um alicate wattímetro marca Minípa modelo ET 4055, um alicate amperímetro marca ICEL modelo AD 8200, um varivolt de 3KVA da marca INTEST, e também uma fonte de corrente da marca ICEI modelo PS5000.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta dos dados das medições e dos cálculos, construídos a partir da realização dos ensaios, tornou-se possível a comparação analítica dos principais parâmetros do motor após a rebobinagem. Tão somente após os ensaios à plena carga houve possibilidade de se determinar a diferença nas principais características do motor, após o processo de rebobinagem.

Realizou-se os ensaios à plena carga de forma improvisada com o intuito de simular uma carga no eixo, da forma mais próxima do real. Realizou-se. Portanto, todas as medições e cálculos para se determinar o fator de potência, rendimento, escorregamento e perdas dos motores depois de rebobinados.

Os motores tiveram variações pequenas, sendo possível determinar que a realização da manutenção das bobinas afetam todos os parâmetros da máquina. O motor foi rebobinado pela empresa ELÉTRICA GERAL, em seu setor de rebobinagem, obtendo-se valores ligados à qualidade e efetividade dos serviços. De acordo com os ensaios de rotina qualquer alteração nas partes do estator e nos enrolamentos influenciará diretamente a máquina em questão.

O motor testado mostrou a efetividade no padrão da empresa ELÉTRICA GERAL, evidenciando que os resultados obtidos mostraram valores muito próximos para os circuitos equivalentes dos motores após o processo de rebobinagem. Os valores obtidos e analisados mostraram que houve claramente a alteração nos valores das resistências das bobinas e um pequeno aumento nas reatâncias que refletem as perdas de fluxo após a rebobinagem. Entretanto, após as análises foi possível ver que esses valores tiveram uma pequena influência nos dados medidos nos ensaios à plena carga.

Os dados coletados nos testes de ensaios à plena carga definiram o comportamento do motor ao operar potência nominal no eixo, tornando possível o cálculo dos principais parâmetros definidores das características do motor. A análise de todos os resultados obtidos a partir das medições e dos cálculos apontou que após a rebobinagem os motores apresentaram alterações em seus parâmetros. No entanto, essas alterações são irrelevantes para operação da máquina com carga nominal. Visando a viabilidade técnica e econômica a reciclagem dos materiais aplicados na

fabricação de cada motor, tem-se que a rebobinagem não altera de forma crítica as características dos motores. Outrossim, os valores obtidos em todos os ensaios apenas serviram para confirmar os resultados de uma série de testes aplicados mas que, por outro lado, na prática podem ter algumas alterações em cargas reais

É importante frisar que nas empresas que dão manutenção dos motores elétricos não há como se fazer o mesmo tratamento térmico aplicado pelas fábricas e construir as bobinas do estator com as mesmas dimensões. Esses fatores tem influência direta nas características do motor. Logo, torna-se imprescindível a manutenção de mesmo padrão bem como a utilização de materiais de alta qualidade. Entretanto, registrou-se pequenas variações nos parâmetros relacionados ao desempenho, mas o mesmo tempo de relevância.

Após a análise individual de todos os resultados tornou-se possível concluir que há uma tendência de todos os parâmetros internos e de operação se manterem muito próximos dos originais. Todavia, esses valores foram muito próximos e com percentual de erro. Sendo assim, os motores ensaiados tiveram variações em suas características irrelevantes mantendo seu valor e características semelhantes ao valor do original e com isso foi possível determinar que a rebobinagem tem sim uma viabilidade técnica.

Conforme mostra a Tabela 6 abaixo, as rebobinagens dos motores ensaiados custam em média cerca de 30% do valor dos motores novos, sendo que todos os valores foram fornecidos pela empresa ELÉTRICA GERAL.

Tabela 8 - Tabela comparativa de preços

MOTOR WEG 1CV W22PLUS	MOTOR MOTOR ORIGINAL (R\$)	REBOBINADO (R\$)
	776,37	250,00

Fonte: os próprios autores

Os principais parâmetros de desempenho em operação como o fator de potência, escorregamento, rendimento e as perdas destinaram-se à elaboração dos gráficos da figura (12), figura (13), figura (14) e figura (15), com intuito de melhor

visualização das alterações sofridas após o rebobinamento do motor. Foi utilizado o software EXCEL2016 para elaboração dos gráficos.

Figura 12 - Escorregamento

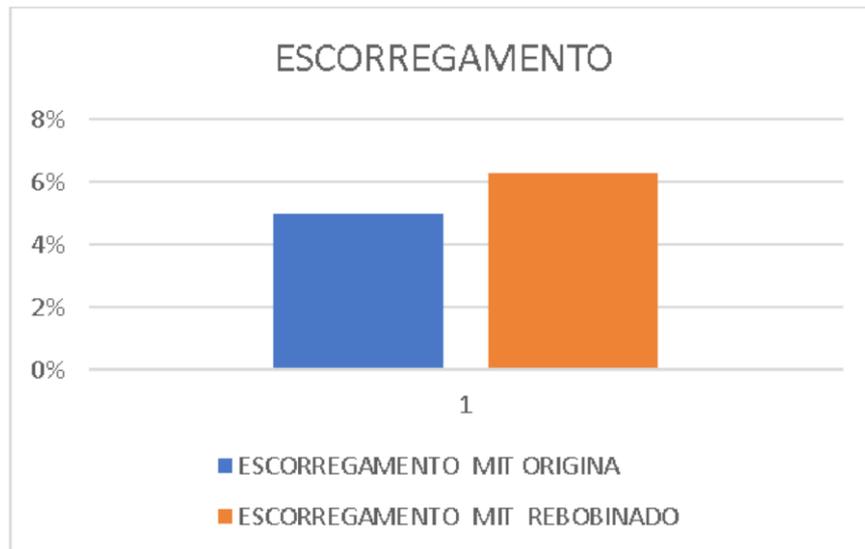


Figura 13 - Rendimento

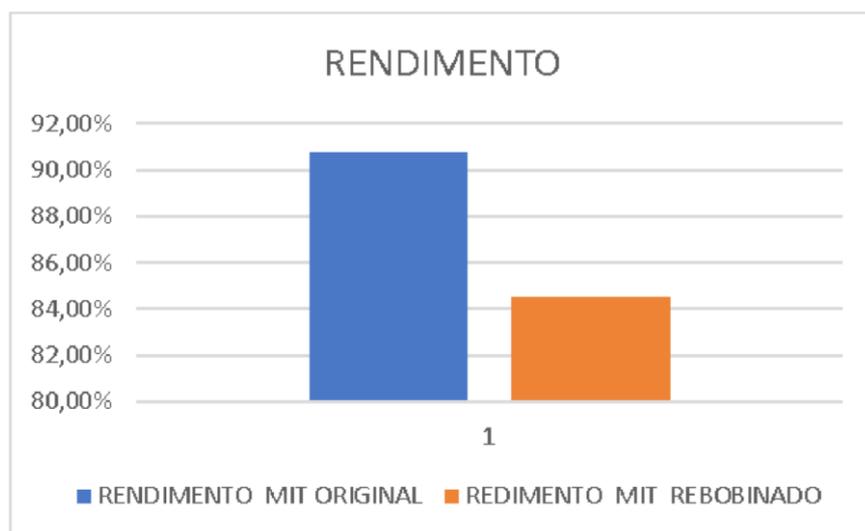


Figura 14 - Fator de Potência

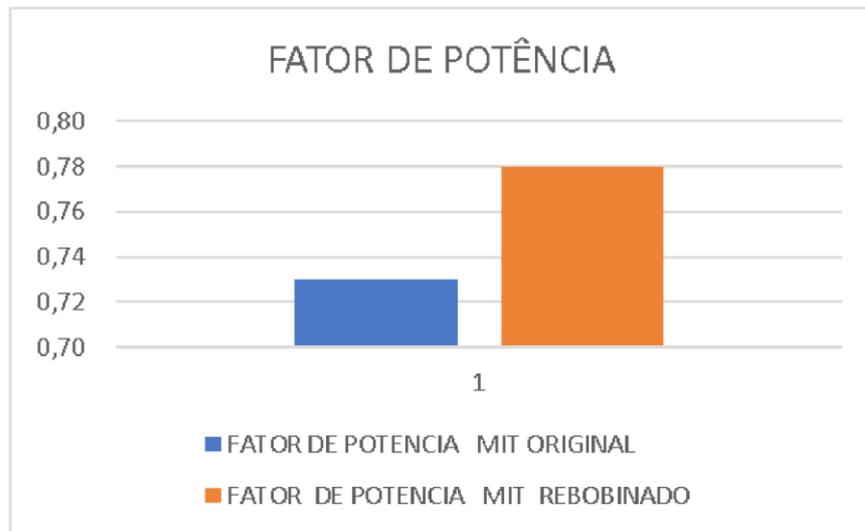
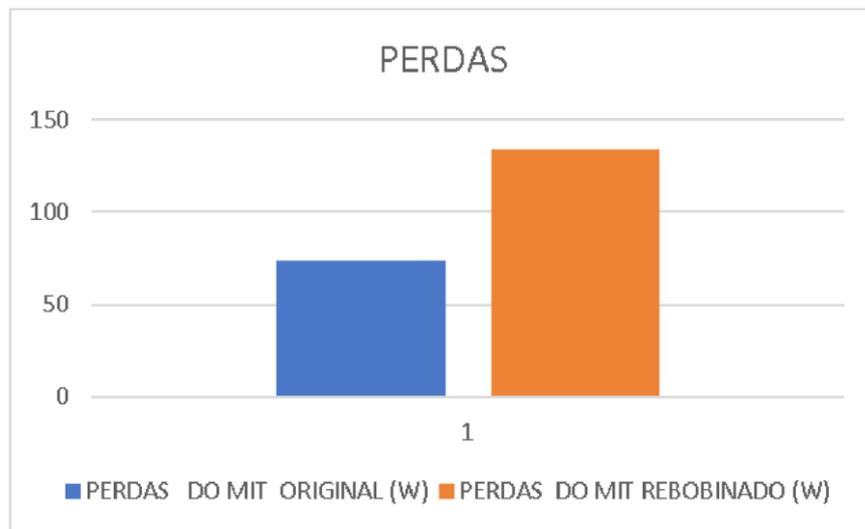


Figura 15 - Perdas



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos experimentos e análises podemos afirmar que a manutenção preventiva na indústria melhora a produtividade, principalmente quando ela é feita por profissional qualificado. Uma das preocupações ao se fazer manutenção preventiva é a segurança e o meio ambiente, além da conservação da vida útil das máquinas. A manutenção de uma produção bem equilibrada depende da conservação das máquinas, a fim de que se tenha maior lucratividade com um custo menor. Já a continuidade da produção está sob a responsabilidade do setor de manutenção. Esse trabalho está a cargo de uma equipe treinada e qualificada para manter a empresa organizada.

O objetivo desse trabalho foi averiguar os motores elétricos trifásicos assíncronos C.A, para movimentar todas as máquinas da indústria, ao menor custo, por transformar energia elétrica por mecânica. Com isso, a durabilidade e eficiência se tornam fatores relevantes.

Os motores geralmente sofrem danos de origem elétrica e mecânica. Todavia, as bobinas dos motores são a parte mais afetada por receberem um desequilíbrio de tensão causando aquecimentos nos enrolamentos dos motores. Com isso é preciso um rebobinamento, mas em alguns momentos são enrolados de forma errada causando um desempenho menor nas máquinas, com rendimento menor na vida útil dos motores de fábricas.

A grande vantagem está relacionada ao custo da rebobinagem dos motores que é mais barato para realizar a manutenção e a troca de toda a parte elétrica. Se houver queima de motores (rebobinagem), com isso confiar em um motor após a rebobinagem pode considerar as suas características nominais como menores. Quando realizada uma rebobinagem os parâmetros dos motores são alterados, principalmente por modificar a quantidade de voltas (espirais) das bobinas que geram o fluxo do campo magnético.

Ao realizar o ensaio em plena carga mostrou as mudanças no motor operando em carga. O objetivo principal desses ensaios foi demonstrar a diferença do motor

após a sua rebobinagem. As diferenças foram pequenas mas foi possível manter suas características normais dos motores.

Com isso, o processo de rebobinagem adotado pela empresa Elétrica Geral pode ser considerado adequado para esse trabalho. Esse trabalho foi realizado com motores pequenos, e mostrou uma diferença entre eles, sendo que quando num motor maior as diferenças são ainda maiores, mas se tornam as mesmas medidas de eficiência, perda e rendimento.

Ao término desse trabalho ficou mais claro o conhecimento na área de máquinas elétricas e seu princípio de funcionamento, observando-se assim uma alternativa para que possa fazer uma melhora na rebobinagem e ter uma garantia com mais confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- 1 TORO, Vincent del. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Disponível em: < Brasil>. Acesso em: 16 jun. 2019.
- 2 MAMEDE FILHO, João. **Manual de equipamentos elétricos**. Disponível em: < Amazonas>. Acesso em: 16 jun. 2019
- 3 **Base de dados da ANEEL permite acompanhar investimentos em energia elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 24 jun. 2019.
- 4 FILIPO, Guilherme Filho. **Motor de Indução**. 2 . ed. Rio de Janeiro: Erica, 2013
- 5 RADON, Jose. **Manual de Bobinagem**. São Paulo: 2002, Hemus, 2002. BRASIL, Leonardo Energy. **A História do Motor Elétrico**. Disponível em: < <Http://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/>>. Acesso em: 28 maio 2019.
- 6 **Manutenção de motor elétrico: como fazer corretamente**. Disponível em: < <http://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/>>. Acesso em: 28 maio 2019.
- 7 BARRO, R. B.; FERREIRA, R. L. G. B. de. **Eficiência Energética. Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos**. Disponível em: <Brasil>. Acesso em: 16 jun. 2019.
- 8 **Redimensionamento de motores**. Disponível em: < Http://novo.more.ufsc.br/homepage/inserir_homepage>. Acesso em: 24 jun. 2019.
- 9 ABNT NBR 5483 1 2002 – (Norma brasileira para ensaios em motores). Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/21096474/abnt-nbr-5383-1-2002-normabrasileira-para-ensaios-em-motores-de-inducao-trifasico>. Acesso em: 26 out. 2019.
- 10 CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5 ed. São Paulo. Editora: AMGH, 2013.
- 11 MOTORES, Weg. **Motores elétricos de corrente alternada**. Disponível em: < <Http://www.coe.ufrj.br/~richard/Acionamentos/Catalogo%20de%20Motores.pdf> >. Acesso em: 16 jun. 2019.
- 12 **Museu Weg**. Disponível em: <http://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/>
- 13 CARDOSO. **Calculo de Matriz de Bobinagem**. 4 . ed. Blumenau: Ltc, 1994

- 14 CARVALHO, G. **Máquinas Elétricas: teoria e ensaio**. 4 ed. São Paulo. Editora: Erica, 2011.
- 15 **Eficiência Energética** Disponível em:
<https://www.weg.net/institucional/BR/pt/solutions/energy-efficiency>. Acesso em: 16 jun. 2019
- 16 Manual Elétrica Industrial. Disponível em:
<http://www.sotofilhos.com.br/manuais/manutencaoeletricamotores.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2019.
- 17 **Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão – especificação, características e manutenção**. 2015. Disponível em:
< [https://docente.ifsc.edu.br/rafael.grebogi/MaterialDidatico/Eletromecanica/Eletricidade%20Industrial%20\(OLD\)/WEG-curso-dt-6-motores-eletricos-assincrono-de-altatensao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf](https://docente.ifsc.edu.br/rafael.grebogi/MaterialDidatico/Eletromecanica/Eletricidade%20Industrial%20(OLD)/WEG-curso-dt-6-motores-eletricos-assincrono-de-altatensao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf)>. Acesso em: 26 out. 2019.

DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO

Autoriza-se a reprodução bem como a divulgação parcial ou total desse trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, tendo como finalidade o estudo e pesquisa, devendo ser obrigatoriamente citada a fonte.

Faculdade Patos de Minas – Patos de Minas, 13 de Novembro de 2019.

Adamar Pereira

Alexandre Lopes

Guilherme Fernandes Thiago Sousa