

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA**

ANNE KAROLINE SANTOS DE OLIVEIRA TIBURCIO

Isolamento de motores elétricos

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

ANNE KAROLINE SANTOS DE OLIVEIRA TIBURCIO

Isolamento de motores elétricos

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica do Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro

Orientador: Prof. Msc Demerval Mizuyama.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento de Engenharia Elétrica
Curso de Engenharia Industrial Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Anne Karoline Santos de Oliveira Tiburcio

Isolamento de motores elétricos

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00hs do dia 27/11/2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Industrial Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Me(a). Demerval Mizuyama - Presidente (Orientador)

Prof(a). Me(a). Marco Antonio Ferreira Finocchio - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Murilo da Silva - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

Dedico este trabalho aos meus pais (in memoriam) e a minha tia Amair, por todo o apoio e esforço realizado para minha formação humana e intelectual.

AGRADECIMENTOS

A Deus e à virgem Maria por estar junto de mim durante todo o tempo, me guiando, abençoando e protegendo.

A minha família, em especial minha tia Amair e meus irmãos Augusto e Altair, pelo apoio incondicional e imensurável em todos os momentos que precisei, por terem me ensinado todos os valores que carrego dentro de mim hoje, vocês são o motivo pelo qual muitas vezes ergui a cabeça e segui em frente.

Ao Masaru e Katia, por terem me acolhido como filha, serem grandes exemplos de caráter e humildade, pelo carinho, atenção e apoio de sempre.

A todos os professores da UTFPR, em especial, ao professor Demerval Mizuyama que me orientou, pela dedicação e conhecimento transmitido, ao professor Marco Antônio Finocchio que pacientemente se colocou a disposição sempre que precisei e pelas experiências compartilhadas em suas aulas.

A todos os amigos que conquistei ao longo de minha vida, em especial aos amigos de graduação que estiveram ao meu lado estes anos e com os quais eu espero ter muitos reencontros ainda, Luiz Guilherme, Thiago Takaoka, Thais Fujita, Jonathan, Henrique Miranda, Bernardo, Rafael Bassaco, Alvaro, Natalia Chagas, Eloisa, Diego Santiago, Pedro Almeida e Marcelo Takami.

A todos, o meu sincero

Muito Obrigada!

“A felicidade não se resume na ausência de problemas, mas sim na sua capacidade de lidar com eles”
(Albert Einstein)

RESUMO

TIBURCIO, A.K.S.O. **Isolamento de Motores Elétricos**. 2014. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Industrial Elétrica: Ênfase em Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

Os Motores Elétricos são extremamente importantes para produção de uma indústria, e podem, com o uso, desenvolver defeitos ou falhas. Visando maximizar sua eficiência e reduzir custos de manutenção, a manutenção preditiva vem crescendo com objetivo de detecção antecipada das falhas. A proposta deste trabalho é elaborar uma planilha, através de estudos e práticas, que auxilie os operadores da manutenção nos ensaios de resistência de isolamento dos motores. Aspectos como sujeira e umidade podem ser detectados mediante valores deste ensaio.

Palavras-chave: Motores Elétricos, Manutenção, Isolação.

ABSTRACT

TIBURCIO, A.K.S.O. **Insulation of Electric Engines**. 2014. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Industrial Elétrica: Ênfase em Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

Electric engines are extremely important for the production of an industry, and they can, with the use, develop defects or failures. So aiming to maximize its efficiency and to reduce maintenance costs, the predictive maintenance is growing up with the goal of early detection of faults. The purpose of this work is to develop a spreadsheet, through studies and practices, which would help operators of maintenance in the engine insulation resistance tests. Aspects such as dirt and moisture can be detected by this test values.

Key-words: Electric Engines, Maintenance, Insulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Motor de Indução Trifásico.....	15
Figura 2 - Comparativo percentual da ocorrência de falhas em MIT	18
Figura 3 - Curto entre espiras.....	19
Figura 4 - Bobina curto-circuitada	19
Figura 5 - Curto-circuito entre fases	20
Figura 6 - Curto-circuito na ranhura	20
Figura 7 - Percentual anal por tipo de manutenção.....	22
Figura 8 - Componentes de Correntes de Fuga	28
Figura 9 - Variação aproximada da resistência de isolamento	31
Figura 10 - Megômetro Mi-2700	32
Figura 11 - Variação da resistência de isolamento com o tempo	33
Figura 12 - Curva clássica de secagem do enrolamento de uma máquina.....	34
Figura 13 - Medição em motores do laboratório de manutenção	38
Figura 14 - Medição em motores do laboratório de manutenção	38
Figura 15 - Torno Paralelo da oficina da UTFPR-CP	39
Figura 16 - Gráfico comparativo entre IP e IA para motores de 2 CV	41
Figura 17 - Gráfico comparativo entre IP e IA para motores de 40 CV	42
Figura 18 - Gráfico comparativo entre IP e IA para motores de 125 CV	43
Figura 19 - Etapa 1 do plano de manutenção	43
Figura 20 - Etapa 2 do plano de manutenção	44
Figura 21 - Etapa 3 do plano de manutenção	44
Figura 22 - Etapa 4 do plano de manutenção	44
Figura 23 - Etapa 5 do plano de manutenção	45
Figura 24 - Plano de Manutenção	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes térmicas de motores elétricos.....	17
Tabela 2 - Tensão de prova do megômetro	30
Tabela 3 – Avaliação de Índice de Polarização - IP	35
Tabela 4 - Avaliação de Índice de Absorção - IA.....	36
Tabela 5 - Resultados obtidos no laboratório de manutenção	38
Tabela 6 - Resultados obtidos no laboratório de manutenção	39
Tabela 7 - Resultados obtidos no laboratório de manutenção	39
Tabela 8 - Resultados obtidos em cada torno da oficina.....	40
Tabela 9 - Resultados obtidos de motores de 2CV da indústria.....	41
Tabela 10 - Resultados obtidos de motores de 40CV da indústria.....	41
Tabela 11 - Resultados obtidos de motores de 125CV da indústria.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção
AIEE	<i>American Institute of Electrical Engineers</i>
IA	Índice de Absorção
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IP	Índice de Polarização
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
UL	<i>Underwriters Laboratories</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 MOTORES ELÉTRICOS	15
2.1.1 Falhas em Motores Elétricos	17
2.2 MANUTENÇÃO	20
2.2.1 Manutenção Corretiva	22
2.2.2 Manutenção Preventiva	23
2.2.3 Manutenção Preditiva	24
3 METODOLOGIA	27
3.1 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	27
3.1.1 Medição da resistência de isolamento.....	29
3.2 MEGÔMETRO.....	31
3.3 ÍNDICE DE POLARIZAÇÃO (IP)	32
3.4 ÍNDICE DE ABSORÇÃO (IA)	35
4 RESULTADOS	37
4.1 RESULTADOS OBTIDOS EM LABORATÓRIOS DA UTFPR-CP.....	37
4.2 RESULTADOS OBTIDOS EM INDÚSTRIA.....	40
4.3 PLANO DE MANUTENÇÃO	43
5 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Motores elétricos constituem grande parte de um processo de produção industrial. Tendo em vista que a falha de um motor que aciona a máquina do setor produtivo prejudica várias etapas do processo causando prejuízos financeiro e temporal, faz-se necessário constantes investimentos em recursos e esforços pelas indústrias para manter altos níveis de confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos. Assim, as manutenções do tipo preventiva e preditiva são aplicadas visando manter a eficiência dos processos de produção, com os equipamentos mantidos em operação por longos períodos e com a presença mínima de falhas (SILVA, 2012).

Água, poeira, calor, frio, umidade, atmosfera corrosiva, resíduos químicos, vibrações e inúmeras outras condições podem afetar a confiabilidade operacional e a vida útil de equipamentos elétricos. O isolamento dos motores elétricos é extremamente prejudicado por estas condições, sendo uma das avaliações com maior peso quando analisadas as causas das falhas do equipamento. Dentro das falhas elétricas, as falhas no isolamento representam uma porção significativa para estas serem levadas com leviandade (RODRIGUES, 2010).

Para os estudos relacionados a manutenção de motores elétricos são feitos vários tipos de ensaios, tanto para motores com ou sem falhas, para que seja possível a identificação de parâmetros para ambos os casos. Esses ensaios são realizados para diferentes níveis de desbalanço de tensão, torque de carga e velocidade impostas no eixo (GONGORA, 2013).

A medição de resistência de isolamento, objetivo deste trabalho, tem sido utilizada para avaliar a condição do isolamento elétrico, acompanhada pelos ensaios de índices de polarização e absorção, é possível realizar um diagnóstico ideal quanto a isolação, identificando a presença de sujeira, umidade e o grau em que já foi afetado.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Todo motor sofre desgastes devido ao tempo de uso, a umidade do ar, sujeira do ambiente, atritos, entre outros problemas. A fim de reduzir a frequência, duração e as consequências das falhas e defeitos, é necessário realizar investimentos, em equipamentos, software e contratação no setor de manutenção, no sentido de aumentar a confiabilidade dos sistemas e equipamentos. Visto que uma indisponibilidade operacional pode representar, em termos de custos, muitas vezes mais do que custaria para reparar a própria falha (SPAMER, 2009).

À medida que a vida de um motor depende principalmente do seu isolamento, o mesmo deve ser verificado as condições de funcionamento em um intervalo regular de tempo. O estado de limpeza e umidade de um motor pode ser monitorado pelos testes de resistência de isolamento, sendo o principal objetivo deste trabalho que é o estudo da influência destes fatores. Testes complementares, tais como Índice de Polarização (IP), Índice de Absorção (IA) e Isolação podem fornecer informações valiosas sobre o estado de deterioração e ajudarão a prever possíveis falhas do sistema (FLUKE, 2000).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é realizar avaliação da isolação de motores elétricos por meio de testes como Resistência de Isolamento, Índice de Polarização (IP) e Índice de Absorção (IA) e, analisar o resultado obtido quanto aos aspectos como a sujeira, umidade e envelhecimento que podem acarretar em uma falha no enrolamento do motor.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar dos métodos de testes de manutenção: Isolação, Índice de Polarização e Índice de Absorção.

- Realizar testes em motores elétricos que aciona a máquina ferramenta do laboratório de processos de fabricação da UTFPR-CP.
- Avaliação dos resultados obtidos para “IP” e “IA” dos motores que acionam as máquinas ferramenta do laboratório de processos de fabricação “UTFPR-CP” e de um lote de motores de uma indústria para verificar o estado de isolamento.
- Elaborar um relatório de manutenção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MOTORES ELÉTRICOS

Motores elétricos são máquinas capazes de promoverem uma transformação de energia elétrica em energia mecânica. Existem diversos tipos de motores elétricos, sendo eles divididos em motores de corrente contínua, que possuem custo mais elevado, e motores de corrente alternada, que são os mais utilizados, uma vez que a distribuição de energia elétrica é geramente realizada em corrente alternada. Entre os motores de corrente alternada, destaca-se o motor de indução, é o mais utilizado entre todos os tipos, devido a suas vantagens de baixo custo operacional, facilidade de transporte, limpeza, robustez e simplicidade de comando (WEG, 2013).

O motor de indução é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor. Os principais componentes deste tipo de motor são ilustrados na Figura 1.

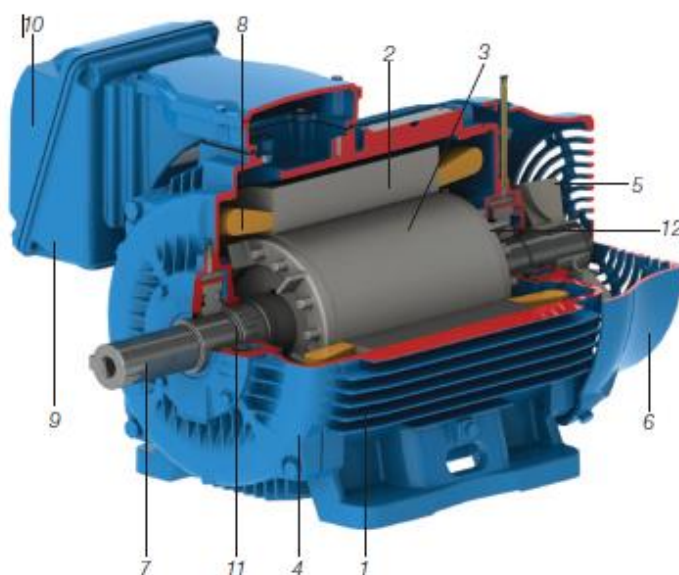


Figura 1 - Motor de Indução Trifásico
Fonte - WEG, 2010.

- (1) Carcaça – É a estrutura de construção robusta que suporta o conjunto de componentes
- (2) Núcleo de chapas do estator – de material ferro magnético
- (3) Núcleos de chapas do rotor– de material ferro magnético, iguais as do estator
- (4) Tampa
- (5) Ventilador
- (6) Tampa defletora de ar
- (7) Eixo - Destinado a transmissão de potência mecânica desenvolvida pelo motor
- (8) Enrolamento trifásico – três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase
- (9) Caixa de ligação elétrica
- (10) Terminais para conexão elétrica
- (11) Rolamentos
- (12) Barras com anéis de curto-circuito – de alumínio injetado sob pressão numa única peça.

Para as indústrias de produção, motores elétricos, são considerados equipamentos de grande importância, tanto por sua utilidade, quanto pelo seu custo. Durante o seu ciclo de vida, estes equipamentos estão expostos a diferentes condições operacionais, como sobrecargas mecânicas advindo do sistema acionado, harmônicos, temperatura, vibrações mecânicas, variações de tensões advindas do sistema de fornecimento de energia. Todas estas variáveis interferem e podem causar degradações no sistema de isolamento do motor (SILVA, 2012).

Dentre todos os fatores, a temperatura é muitas vezes o fator dominante quanto ao envelhecimento dos materiais isolantes e que interferem nas condições de isolação dos motores elétricos. As classes térmicas indicam a temperatura máxima que o equipamento pode atingir, são reconhecidas internacionalmente e o que diferencia a classe de isolamento são os materiais isolantes utilizados, estes são classificados de acordo com sua capacidade de suportar diferentes temperaturas (IEC 60085, 2007). As classes térmicas definidas para materiais isolantes são apresentadas no Tabela 1.

Tabela 1 - Classes térmicas de motores elétricos

CLASSES DE TEMPERATURA		
TEMPERATURA (°C)	IEC 60085	UL 1446
90	90° (Y)	-
105	105° (C)	-
120	120° (E)	120 (E)
130	130° (B)	130 (B)
155	155° (F)	155 (F)
180	180° (H)	180 (H)
200	200° (C)	200 (N)
220	220° (R)	220 (R)
240	-	240 (S)
ACIMA DE 240	-	Acima de 240 (C)
250	250° (250)	

Fonte - WEG, 2009.

IEC – *International Electrotechnical Commission* – Organização Internacional não governamental de normas da área elétrica, eletrônica e de tecnologias relacionadas.

UL – *Underwriters Laboratories* – Entidade norte americana de certificação de produtos.

2.1.1 Falhas em Motores Elétricos

Os motores elétricos estão sujeitos a falhas, até mesmo aqueles que possuem como principal característica sua robustez. Estas falhas podem ser classificadas em falhas mecânicas e falhas elétricas. Estudos mostram que cerca de 40% das falhas em motores estão relacionadas a defeitos mecânicos; estes podem ser rolamentos, desgastes de mancais ou excentricidade, e cerca de 30%, são problemas com enrolamento do estator e aproximadamente 10% com barras de rotor quebradas. A Figura 2 demonstra em forma de gráfico estes problemas com seus respectivos percentuais (GONGORA, 2013).

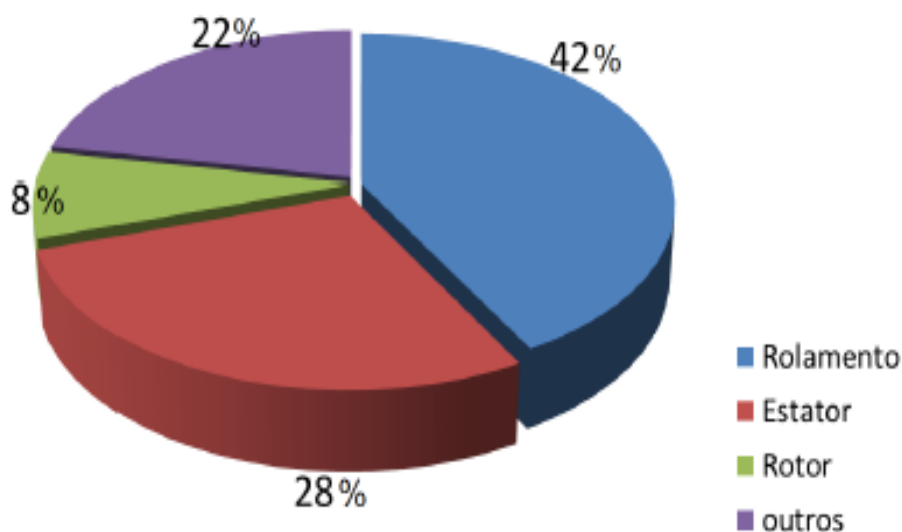


Figura 2 - Comparativo percentual da ocorrência de falhas em MIT
Fonte - Gongora, 2013.

Entre as falhas de índole elétrica, destacam-se os problemas com desbalanceamentos entre as fases, curto entre as fases, baixa isolação, sobrecarga e passagem de corrente elétrica pelos mancais. As Figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam motores que sofreram falhas de curto-circuito, que pode ser causada por fatores como: contaminação interna do motor, degradação do material isolante por ressecamento ocasionada por excesso de temperatura, abrasão, vibração ou surtos de tensão. Estas falhas podem também ter origem em processos químicos, como corrosão de materiais isolantes, devido essencialmente às características do local de funcionamento do motor elétrico (RODRIGUES, 2010).

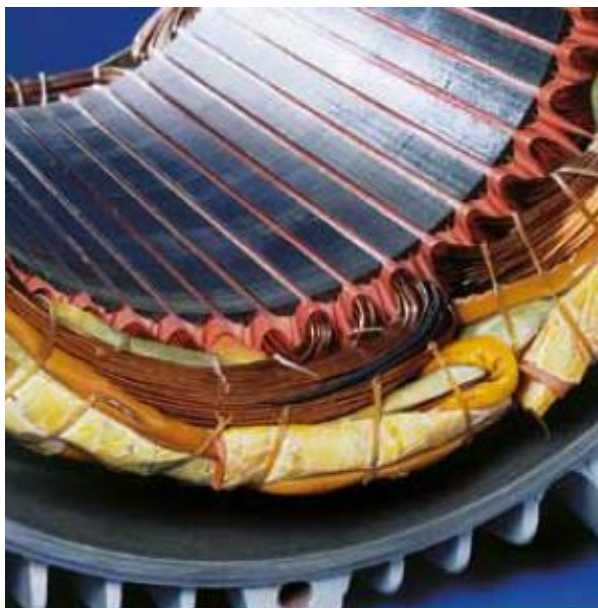


Figura 3 - Curto entre espiras
Fonte - WEB, 2012.

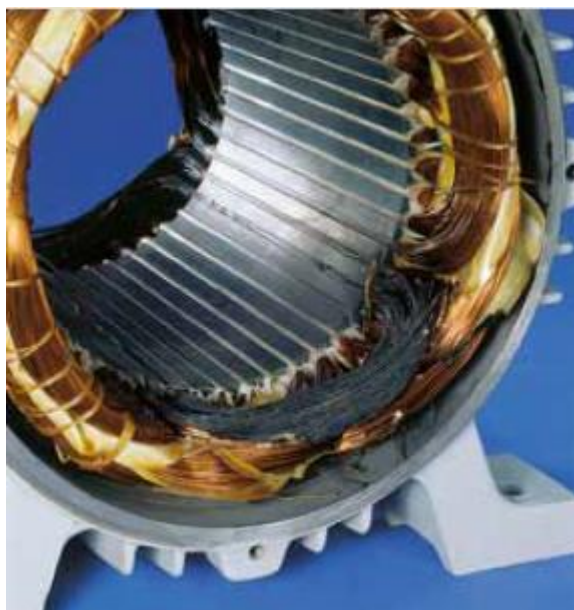


Figura 4 - Bobina curto-circuitada
Fonte - WEG, 2012.



Figura 5 - Curto-circuito entre fases
Fonte - WEB, 2012.



Figura 6 - Curto-circuito na ranhura
Fonte - WEG, 2012.

2.2 MANUTENÇÃO

Desde o início da revolução industrial do século XVIII, quando as máquinas tomaram conta do cenário industrial, houve a necessidade de um procedimento que mantivesse os equipamentos em funcionamento, sendo este procedimento

conhecido como manutenção. A origem da palavra manutenção vem do latim na junção de duas palavras “*manu tentione*”, que significa “ter a mão”. Ela consiste no conjunto de atividades, tais como revisões e operações normais, que visam reestabelecer ou manter em perfeito estado de conservação um determinado aparato (GONGORA, 2013).

A manutenção estava voltada para a correção de falhas após a ocorrência da mesma, sem se preocupar com paradas inesperadas na produção, definida como Manutenção Corretiva. Entretanto, visando a redução de custos e melhoria na qualidade de serviço, a manutenção ganhou grande importância no cenário industrial, cuja definição atual é: um conjunto de ações de gestão, técnicas e econômicas, aplicadas ao bem, com o objetivo de garantir o funcionamento da máquina elétrica, aumentando sua vida útil.

Os autores Kaderc e Lafraia (2002), trazem uma comparação entre o antigo conceito da missão da manutenção e o atual, há até pouco tempo atrás, o conceito predominante era de que a missão da manutenção era de reestabelecer as condições originais dos equipamentos. Hoje, a missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos de modo a atender um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados.

A primeira evolução das técnicas de manutenção foi desenvolvida pelas forças armadas em virtude da segunda grande guerra, pois um equipamento parado poderia ser decisivo em diversas condições. Surgindo então a Manutenção Preventiva, nesta o equipamento ou sistema é interrompido somente no momento necessário e oportuno, tanto para o processo produtivo como para o equipamento. Essa análise é baseada em levantamento de parâmetros técnicos, estatísticos e operacionais, que determinam o tempo de vida média útil de cada equipamento (GONGORA, 2013).

Com a crescente inovação das máquinas elétricas, a Manutenção Preventiva foi se tornando insatisfatória para as indústrias, levando as mesmas a estabelecerem a Manutenção Preditiva como método de maiores vantagens sob todos os aspectos. Para tal, foram desenvolvidos métodos e técnicas com procedimento de inspeções para monitoramento e análise das condições individuais e reais de cada componente. Acompanhando o avanço das

irregularidades até a parada da máquina, tais técnicas eram capazes de estabelecer o ponto ideal para a intervenção da mesma (NEPOMUCENO, 1989).

Desde 1995 a ABRAMAN, Associação Brasileira de Manutenção, elabora a cada dois anos o Documento Nacional da Manutenção, onde é apresentada por meio de dados estatísticos, a situação da manutenção no Brasil. Em sua edição de 2011, a pesquisa foi desenvolvida com mais de 140 empresas de 20 setores da economia nacional, como metalúrgico, siderúrgico, automotivo, energia elétrica, dentre outros. Na Figura 7, observa-se que ainda é predominante a aplicação da Manutenção Preventiva, onde o custo de aplicação inicial é baixo. Já a Manutenção Preditiva tem o menor valor da série, provocado pelo alto custo de investimento inicial, porém ela vem crescendo, enquanto a Manutenção Corretiva e a Preventiva apresentam uma certa estabilização.

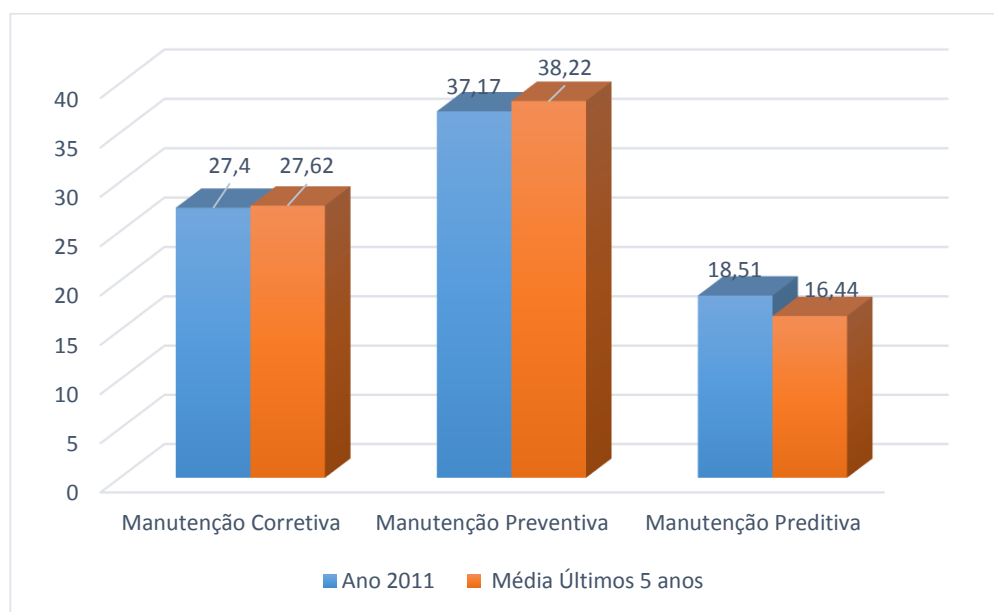


Figura 7 - Percentual anal por tipo de manutenção
Fonte - ABRAMAN, 2011.

2.2.1 Manutenção Corretiva

No período da 1ª Guerra (1914 – 1930), surgiram as primeiras ações desenvolvidas por profissionais com conhecimento e dedicação exclusiva para atenderem a ocorrência de falhas, surgindo assim a Manutenção Corretiva, com o objetivo de corrigir as falhas de equipamentos e instalações quando estas

surgissem. Em comparação aos outros métodos de manutenção, ela aparenta ter um custo menor por ser aplicada somente quando o processo é interrompido, porém, é necessário analisar os prejuízos causados pelo tempo em que o processo ficou parado, muitas vezes a torna a manutenção mais cara (SOUZA, 2009).

A Manutenção Corretiva é dividida em duas classes:

- **Manutenção Corretiva Não Planejada:** Quando ocorre uma falha de forma súbita e imprevisível, acarretando uma ação de emergência para equipe de manutenção.
- **Manutenção Corretiva Planejada:** é realizada após a constatação de uma anomalia, apesar de ser uma falha, esta não afeta a operação, isto é, não é necessária uma ação de emergência, e o reparo pode ser planejado para o momento em que a parada do equipamento não cause prejuízos na produção.

Compete a Manutenção Corretiva gerar informações necessárias para análise do desempenho e da repetibilidade da falha sobre os equipamentos. Como as principais informações necessárias às análises originam da Manutenção Corretiva, é fundamental que seja dada ênfase à formação de uma equipe capaz de transmitir estas informações de forma precisa ao programa de manutenção Preditiva a partir de análises das causas das falhas (SOUZA, 2009).

2.2.2 Manutenção Preventiva

É o procedimento mais utilizado na manutenção de uma planta industrial, como demonstrado no Documento Nacional de Manutenção. Esta técnica é baseada em dados históricos e estatísticos da máquina, que estabelece a média da durabilidade de cada material. Com estes dados, é programada a manutenção, onde os componentes que atingiram seu tempo médio de durabilidade são substituídos, independente se o mesmo estiver em boas condições de funcionamento.

A Manutenção Preventiva evita paradas inesperadas na produção, porém não elimina-as totalmente, muitas vezes equipamentos podem falhar antes da sua vida média. Ela também pode acarretar em prejuízo de tempo e material, uma vez que equipamentos são substituídos sem apresentar falhas. Essas duas falhas presentes nesta técnica são causadas devido os componentes se comportarem diferentemente a cada situação e ambiente.

Comparada com a Manutenção Corretiva, a Manutenção Preventiva é mais cara por peças serem trocadas antes de atingirem seus limites de vida, porém, quando analisados a disponibilidade dos equipamentos ela apresenta suas vantagens. Ou seja, se considerar o custo total, em várias situações a manutenção preventiva acaba sendo mais barata, situações estas onde o custo de um processo parado é mais elevado do que o custo da manutenção em si (XENOS, 1998).

2.2.3 Manutenção Preditiva

A partir da década de 70, as paradas na produção começaram a ter repercussões, diminuindo a produtividade e afetando o custo dos produtos. A aplicação de técnicas preventivas nem sempre se adaptavam ao processo industrial, surgindo então a Manutenção Preditiva, implementada com a idéia de otimizar os prejuízos da Manutenção Preventiva, evitando paradas inesperadas e troca de peças que ainda estejam em condições de funcionamento. (Kardec, Nascif, Baroni, 2002).

Manutenção Preditiva está associada ao termo “predizer”, e este é o seu objetivo: predizer as falhas nos equipamentos por meio do acompanhamento do real funcionamento considerando diversos parâmetros, permitindo a operação contínua pelo maior tempo possível. Tais parâmetros podem ser obtidos de diversas técnicas preditivas, e por meio deles é possível realizar um diagnóstico, que irá relatar o estado dos equipamentos, quando os mesmos apresentarão falhas e como programar a sua substituição, antes que ocasione uma parada na produção. (NEPOMUCENO,1989).

É necessário que sejam criados parâmetros de falhas como limites críticos com o objetivo de comparar as medidas aferidas com estes limites para programar uma intervenção. Estes parâmetros podem inicialmente basear-se em normas

preestabelecidas ou definidas pelo fabricante, porém é ideal que estes sejam ajustados de acordo com o conhecimento adquirido com o acompanhamento histórico de cada equipamento nas instalações da empresa, ou em normas técnicas (SOUZA, 2009).

O monitoramento dos parâmetros pode ser aplicado através de várias técnicas preditivas, sendo as principais:

- **Medição e análise de vibração:** essa técnica baseia-se nas correlações existentes entre as vibrações registradas num dado momento e as suas características reais. É possível diagnosticar em equipamentos rotativos problemas como desalinhamento, problemas em acoplamento e correias de transmissão, deficiência de lubrificação, entre outros.
- **Termografia:** muito importante tanto para equipamentos elétricos como mecânicos. Técnica que utiliza raios infravermelhos para medir ou observar padrões de distribuição de temperatura, a fim de adquirir informações sobre a condição operacional de componentes, equipamentos e processos.
- **Ferrografia:** é a análise das partículas presentes no lubrificante, vindas de um desgaste de algum componente da máquina.
- **Inspeção Visual:** observa-se a máquina em funcionamento e verifica-se condições de limpeza da carcaça (aletas de refrigeração), conexões elétricas, terminais de alimentação e inspeção nos calços do motor, entre outros.
- **Energia Acústica:** Através do teste de Ultra-som, detecta descontinuidades internas pelo modo de propagação das ondas sonoras através de uma peça. O modo de propagação é função da densidade e da velocidade da onda.
- **Ensaio Elétrico:** parâmetros elétricos são monitorados para análise de isolamento, perdas dielétricas, rigidez dielétrica e espectro de corrente ou tensão.

Em termos de custos, a Manutenção Preditiva requer um alto investimento inicial, devido a necessidade de aquisição de aparelhos para medições, porém

quando analisado a longo prazo, ela torna-se a Manutenção mais barata e eficiente. Hoje, muitos autores a consideram como uma atividade produtiva, devido as vantagens que apresentam, entre elas destacam-se:

- ✓ Melhor gerenciamento de materiais;
- ✓ Ganhos por redução do número de paradas e consequentes perdas de produção;
- ✓ Custos nos reparos são minimizados;
- ✓ Aumento da disponibilidade do equipamento para operação;
- ✓ Seguração operacional;
- ✓ Ganhos de confiabilidade e produtividade;

3 METODOLOGIA

3.1 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

O isolamento elétrico tem a finalidade de evitar que a corrente elétrica percorra caminhos indesejáveis em um equipamento elétrico. Desta forma, um isolamento ideal é aquele que, quando submetido a um potencial elétrico adequado, tenha uma resistência infinita. Esta resistência, conhecida como resistência de isolamento, é uma função de três sub-correntes independentes (Arcelor Brasil, 2005).

- Corrente de Carga Capacitiva (I_c): Quando dois ou mais condutores são executados em conjunto eles se comportam como um capacitor. Devido a este efeito capacitivo, uma corrente de fuga flui através da isolação do condutor, iniciando-se com um valor máximo e decrescendo a um valor desprezível em tempo muito curto.
- Corrente de Absorção Dielétrica (I_a): Surge devido à polarização e acúmulo de cargas elétricas no interior de dielétricos imperfeitos. Seu valor é variável com o tempo, porém sua variação é mais lenta do que a Corrente de Carga Capacitiva.
- Corrente Condutiva (I_L): É a corrente mais importante para medir resistência de isolamento, ela flui através do isolante, e seu valor é pequeno (μA) e aumenta à medida que a isolação tem início o processo de deterioração e tornando-se predominante depois que a corrente de absorção desaparece.

A corrente total que flui no isolante é a soma destas três sub-correntes, A Figura 8 representa essas correntes.

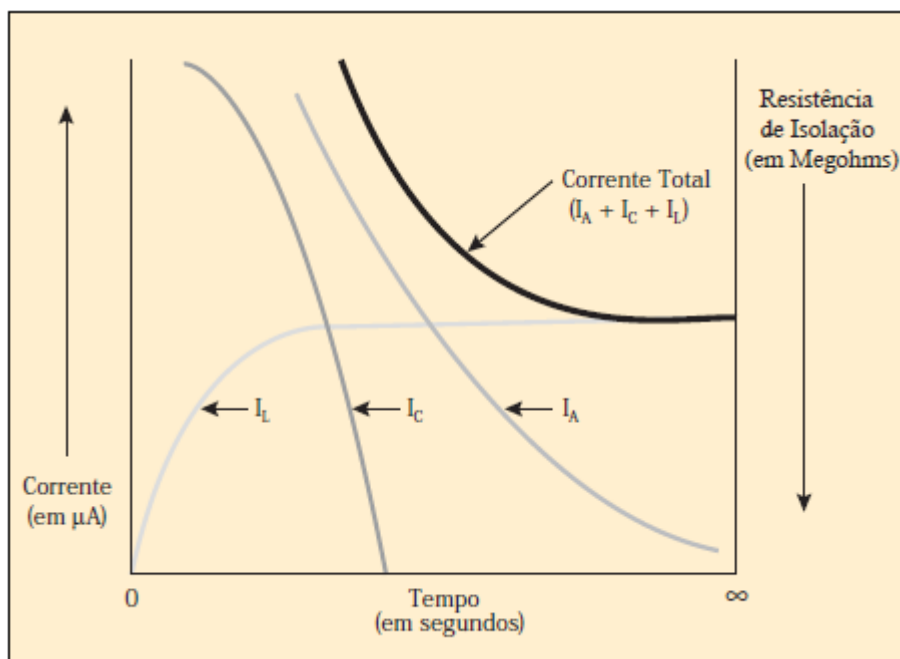


Figura 8 - Componentes de Correntes de Fuga
FONTE - Fluke, 2000.

O valor de resistência do isolamento é um parâmetro muito útil para detectar enfraquecimento da isolação. A presença de acumulação de umidade e sujeira, indicam na medição, um baixo valor. O valor mínimo recomendado pela IEEE Std. 43 para enrolamentos de motores é determinado pela Equação (1):

$$R_m = kV + 1 \quad (1)$$

Onde:

R_m : é a resistência de isolamento mínima recomendada, em $M\Omega$ com enrolamento do motor a 40°C ;

kV : Classe de tensão do enrolamento em kV ;

Entre os métodos mais utilizados para a medição, destaca-se, a resistência de isolamento à 1 minuto, resistência de isolamento x tempo. Ambos consistem em aplicar uma tensão de ensaio compatível com a classe de tensão da isolação do motor em teste e efetuar a medição à 1 minuto para primeiro método, e em continuidade a 10 minutos para o segundo método. Por meio destes métodos são determinados o Índice de Polarização e Índice de Absorção do motor.

Alguns fatores podem influenciar no valor da resistência de isolamento e deverão ser levados em consideração para uma correta interpretação dos ensaios, sendo eles (MORÁN, 1996):

- **Estado da superfície:** sujeiras, poeiras abrasivas ou corrosivas;
- **Temperatura:** pode ser considerada que a cada 5°C de elevação da temperatura, a resistência de isolamento se reduz à metade. Quando adotamos como técnica preditiva de manutenção elétrica, a avaliação da resistência de isolamento é necessário que, os resultados de diferentes ensaios sejam corrigidos para o mesmo valor de temperatura por meio de tabelas que fornecem os índices de correção para diferentes equipamentos;
- **Umidade superficial:** se a temperatura do isolamento for inferior à de **orvalho**, a superfície ficará úmida e causará a queda do valor da resistência de isolamento;
- **Nível de tensão:** a resistência de isolamento aumenta com a duração de aplicação da tensão de teste, caso diminuía é indicio de falha no isolamento.

3.1.1 Medição da resistência de isolamento

Em 1950 foi publicado um guia pela AIEE (*American Institute of Electrical Engineers*) para prática de medição de resistência de isolamento para descrever os aspectos da condição de isolação elétrica da máquina. Com a evolução dos sistemas de isolamento, o guia foi revisado algumas vezes para se adequar aos novos sistemas, entre as mudanças incluem a adição de uma descrição mais detalhada da teoria de testes (IEEE Std. 43, 2006).

No Brasil a NBR 5383-1 “Máquinas Elétricas Girantes – Parte 1: Ensaios” baseada na IEEE Std.43, estabelece o procedimento adequado para medição de resistência de isolamento, com as principais recomendações:

- Recomenda-se que cada fase seja isolada e ensaiada em separado;

- A extremidade do neutro de cada fase do enrolamento deve ser desligada quando possível. Ao ensaiar cada enrolamento individualmente, permite-se uma comparação entre os enrolamentos das fases;
- A medição pode ser feita no enrolamento completo de uma só vez, porem não é recomendado. Uma objeção em ensaiar simultaneamente todas as fases é que somente a isolação para a terra é ensaiada e nenhum ensaio é feito na isolação fase para fase.

A medição da resistência da isolação é feita durante a aplicação de uma determinada tensão DC no enrolamento do estator em teste com o equipamento Megômetro. A temperatura ambiente e umidade relativa do ar devem ser medidas e registadas. A tensão do instrumento será selecionada de acordo com a tensão nominal da máquina conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Tensão de prova do megômetro

TENSÃO NOMINAL DA MÁQUINA (V)	TENSÃO DO MEGÔMETRO (V)
< 1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12000	2500 – 5000
>12000	5000 – 10000

Fonte - IEEE Std. 43, 2006

A temperatura do enrolamento deve estar poucos graus acima do ponto de orvalho para evitar condensação de umidade sobre a isolação do bobinado. Para realizar a comparação de resistência de isolamento, os valores medidos devem ser convertidos à temperatura de referência 40^o conforme a expressão:

$$R_{40C} = K_{T40C} * R_t \quad (2)$$

Onde:

R_{40C} é a resistência de isolamento corrigida para 40°C, em MΩ;

R_t é a resistência de isolamento medida à temperatura t (°C), em MΩ;

K_{T40C} é o fator de correção da resistência de isolamento da temperatura t para 40°C, conforme Figura 3 abaixo.

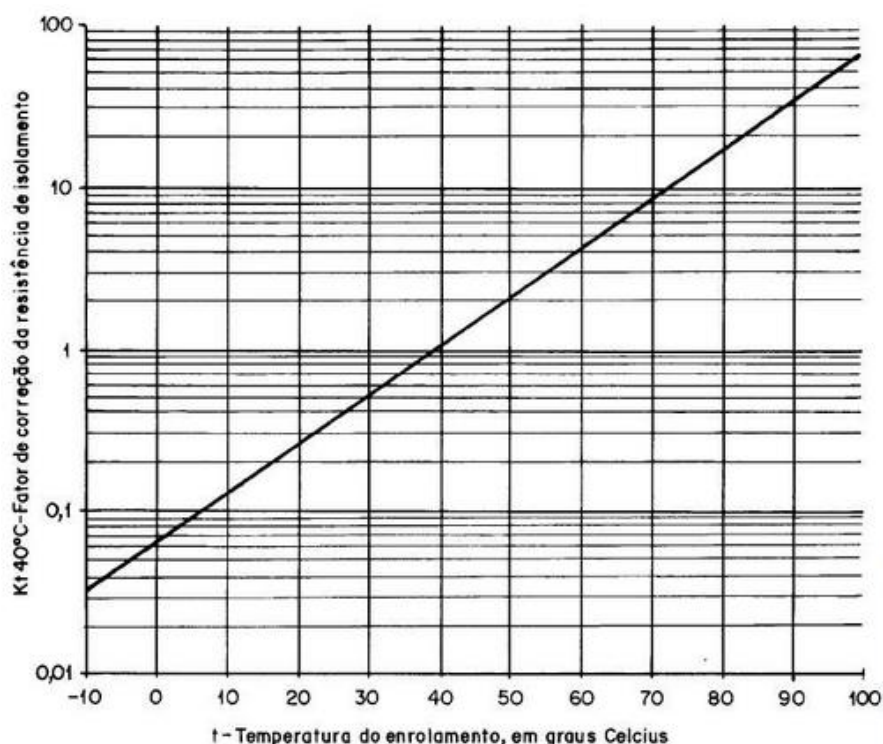


Figura 9 - Variação aproximada da resistência de isolamento
Fonte - NBR 5383-1, 2002

3.2 MEGÔMETRO

Megômetro, também conhecido como Megger, foi introduzido na Inglaterra em 1904 e na América em 1910, e hoje é um dos instrumentos mais utilizados para avaliação do isolamento de equipamentos elétricos. O potencial fornecido pelo Megger é muito maior do que à um ohmímetro. Seu potencial é aplicado entre o condutor e a superfície do material isolante. Conforme o valor de resistência do material, irradia uma quantidade de eletricidade pelo isolante e relaciona este valor com a tensão aplicada (ALMEIDA, 2004).

Para realização deste trabalho foi utilizado o Megômetro MINIPA MI-2700 (Figura 10), equipamento desenvolvido para atuar em ambientes severos.



Figura 10 - Megômetro Mi-2700
Fonte - www.minipa.com.br

3.3 ÍNDICE DE POLARIZAÇÃO (IP)

Este ensaio consiste em aplicar uma tensão nos enrolamentos a serem testados, curto-circuitando as fases dos enrolamentos do estator e aplicando-se uma tensão contra a massa, durante 10 minutos contínuos, fazendo a leitura à 1 minuto (resistência de isolamento) e em 10 minutos. O valor de IP é a razão entre os valores medidos à 10 minutos e à 1 minuto.

$$I_p = \frac{R_{\text{isolamento à 10 minutos}}}{R_{\text{isolamento à 1 minuto}}} \quad (3)$$

A resistência de isolamento de um enrolamento aumenta com a duração da aplicação de tensão contínua, conforme Figura 11. O aumento é rápido no início e

ao do decorrer do tempo, os valores se aproximam de um valor constante. Se o enrolamento estiver com uma isolação seca e em bom estado, o valor da resistência pode crescer durante horas. Quando o valor mantém-se constante em poucos minutos, é indício que a isolação está suja e úmida. A Figura 11 ilustra o motor em boas condições, quando apresenta o índice de polarização com valor mínimo igual a 3.

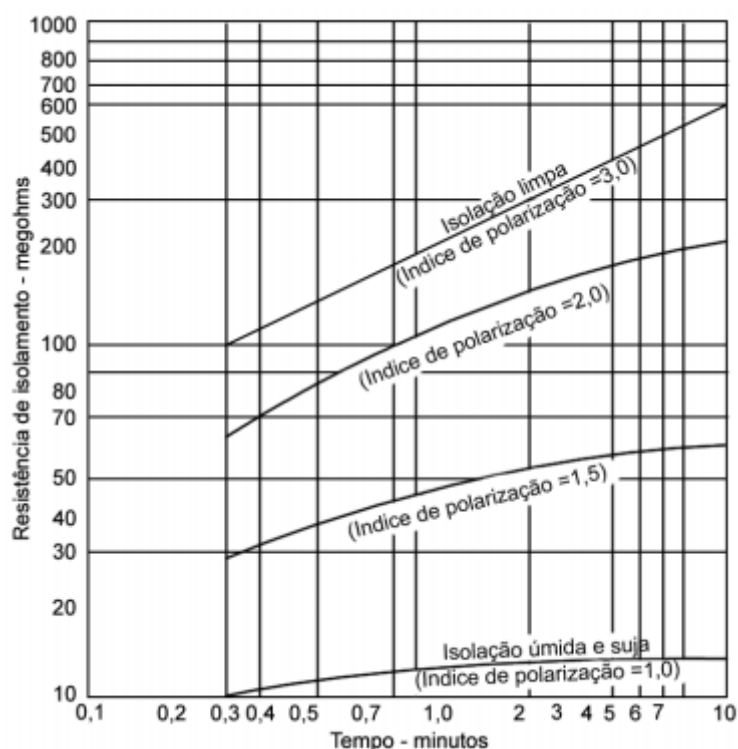


Figura 11 - Variação da resistência de isolamento com o tempo
Fonte - NBR 5383-1, 2002.

Quando o índice de polarização encontra-se com valores reduzidos, ele pode ser aumentado até o valor ideal realizando-se a limpeza e secagem do enrolamento para remover a umidade. Durante o processo de secagem, o índice de polarização permite acompanhar se o processo pode ser finalizado, conforme indica a clássica curva de secagem de uma máquina, representada pela Figura 12 (BRASIL, 2006).

Um estudo de caso foi realizado, onde, o equipamento foi colocado numa estufa a 25°C e regulada para a temperatura de 75°C. Foram medidas as resistências de isolamento a cada 4 horas, e as leituras tomadas à 1 e à 10 minutos

após a aplicação da tensão. Conforme citado anteriormente, a temperatura tem grande influência no valor da resistência de isolamento, à medida que a temperatura aumenta o valor da resistência de isolamento diminui, e seu valor aumenta conforme a umidade é expelida. A aproximadamente a 100 horas de estufa, não há aumento de valor, permanecendo constante, o que indica que o equipamento está seco. Originou-se com este estudo a curva clássica de secagem do enrolamento de uma máquina, Figura 12 (MORÁN, 1996).

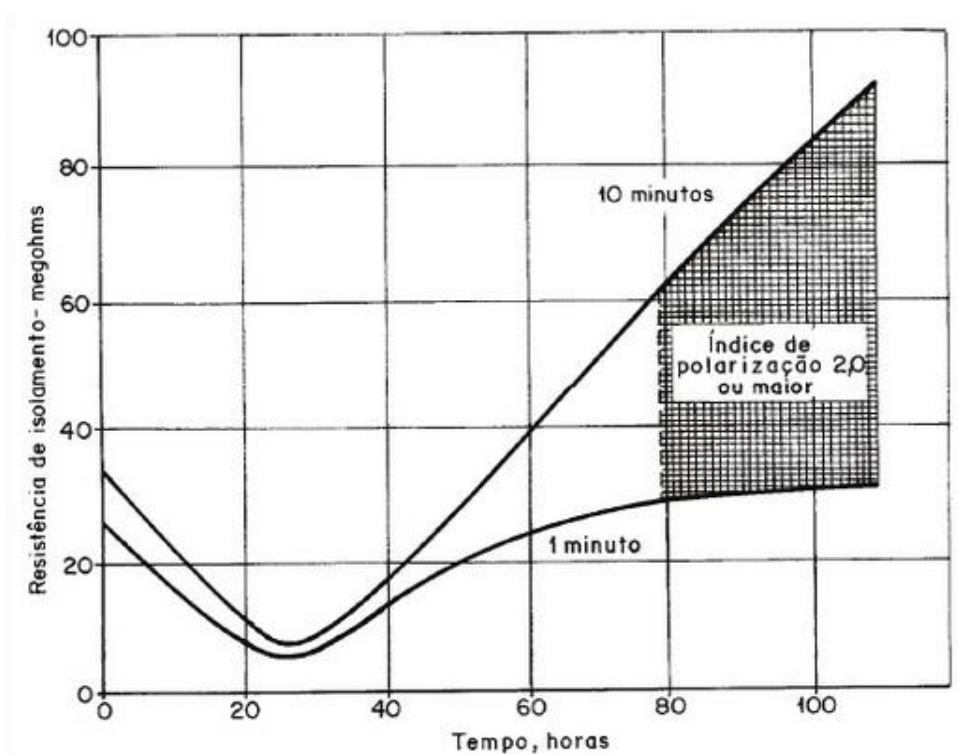


Figura 12 - Curva clássica de secagem do enrolamento de uma máquina
Fonte - NBR 5383-1, 2002.

Os valores limites para análise de IP são indicados na Tabela 3.

Tabela 3 – Avaliação de Índice de Polarização - IP
VALOR LIMITE **AVALIAÇÃO DO**

MAIOR OU IGUAL	Menor	ISOLAMENTO
	1	PERIGOSO
1,0	1,5	Ruim
1,5	2,0	Insatisfatório
2,0	3,0	Bom**
3,0	4,0	Muito bom
4		Excelente

****Conceito mínimo para aceitação da máquina**

Fonte – Web, 2010.

3.4 ÍNDICE DE ABSORÇÃO (IA)

O ensaio de Índice de Absorção consiste em aplicar uma tensão nos enrolamentos a serem testados, porém aqui serão realizadas duas leituras.

Para a execução do ensaio, é necessário curto-circuitar as fases do enrolamento do estator e realizar o teste contra a massa durante 1 minuto contínuo, com leitura em 30 segundos e à 1 minuto. O “IA” é a razão entre as medidas à 1 minuto e à 30 segundos, que determinará o grau de contaminação que pode ter ocorrido na isolação do motor. Seu valor deve ser sempre positivo e crescente na medida em que a isolação esteja em bom estado. O valor mínimo do índice de absorção é de 1, valores abaixo deste indica umidade nos enrolamentos (SPAMER,2009).

$$I_A = \frac{R_{\text{isolamento à 1 minuto}}}{R_{\text{isolamento à 30 segundos}}} \quad (4)$$

A Tabela 4 indica os valores limites para análise de IA.

Tabela 4 - Avaliação de Índice de Absorção - IA
VALOR LIMITE **AVALIAÇÃO DO**

MAIOR OU IGUAL	Menor	ISOLAMENTO
	1	PERIGOSO
1,0	1,25	Questionavel
1,4	1,6	Muito bom
	1,6	Excelente

Fonte - MEGGER, 2006

4 RESULTADOS

Dentro de toda base teórica descrita, foram realizadas medições de resistência de isolamento em motores elétricos da oficina mecânica e do laboratório de manutenção da UTFPR-CP. Motores de seis tornos idênticos, Figura 15, foram avaliados, e outros quatro motores avulsos, Figura 13 e 14, de diferentes potências do laboratório de manutenção, os quatro últimos motores estavam parados há tempos. Durante a realização de medições foi possível identificar os parâmetros essenciais que devem compor uma planilha destinada ao plano de manutenção para os testes de resistência de isolamento.

Para determinar o estado de isolação dos motores foram comparados os valores obtidos de IA e IP com as Tabelas 3 e 4, e aquele que apresenta o pior resultado prevalece na classificação, por isso, mesmo que um motor apresente um IA excelente e seu IP for insatisfatório, a isolação do motor é classificada como insatisfatória.

A quantidade de motores disponíveis nos laboratórios é pequena, e estes não estão em uso contínuo. Por este motivo foram utilizados também, resultados de medições fornecidos de uma indústria de papel e celulose, nesta já é praticada a técnica de manutenção preditiva.

4.1 RESULTADOS OBTIDOS EM LABORATÓRIOS DA UTFPR-CP

- Motores do laboratório de manutenção



Figura 13 - Medição em motores do laboratório de manutenção



Figura 14 - Medição em motores do laboratório de manutenção

Tabela 5 - Resultados obtidos no laboratório de manutenção

Motor de 0,75 kW					
Resistência de Isolamento (MΩ)			IP	IA	Isolação
30 seg	1 min	10 min			
2600	2980	5060	1,70	1,15	Insatisfatório

Enrolamento com alta resistência de isolação, porém a mesma atingiu um valor estável em um curto tempo, chegando em 10 minutos a um valor de 5.060MΩ, resultando de acordo com a equação 3 e comparando com os valores da Tabela 3 um baixo valor de IP, que indica que o enrolamento está contaminado, e com o resultado obtido pela equação 4 e comparado com a Tabela 4, o valor de IA indica que o grau de contaminação é alto.

Tabela 6 - Resultados obtidos no laboratório de manutenção

Motor de 2 CV					
Resistência de Isolamento (MΩ)			IP	IA	Isolação
30 seg	1 min	10 min			
80,7	79,5	75,8	0,95	0,99	Perigoso

As quedas de resistência de isolamento durante o tempo de aplicação de tensão indicam uma isolação extremamente precária.

Tabela 7 - Resultados obtidos no laboratório de manutenção

Motor de 3 CV					
Resistência de Isolamento (MΩ)			IP	IA	Isolação
30 seg	1 min	10 min			
549	567	718	1,27	1,03	Ruim

Durante os 10 minutos de ensaio a resistência de isolamento apresentou um crescimento muito baixo, resultando em um IP de 1,27, indicando que o enrolamento está contaminado, e IA de 1,03 indicando que o grau de contaminação é alto.

- Tornos

**Figura 15 - Torno Paralelo da oficina da UTFPR-CP**

Tabela 8 - Resultados obtidos em cada torno da oficina

	Motores de 6 CV					
	Resistência de Isolamento (MΩ)			IP	IA	Isolação
	30 seg	1 min	10 min			
1	270	300	522	1,74	1,11	Questionável
2	1200	1360	1730	1,27	1,13	Ruim
3	573	632	773	1,22	1,10	Ruim
4	277,5	288	393	1,36	1,04	Ruim
5	339,9	354	416,5	1,18	1,04	Ruim
6	456,7	474,8	560	1,18	1,04	Ruim

Dos seis tornos avaliados, cinco motores apresentaram isolação pobre, e apenas um com uma isolação questionável. Resultado que era esperado, uma vez que os seis estão no mesmo ambiente, com condições de operações e tempo de uso aproximadamente iguais. Os valores de IA próximos de 1 revelam que o grau de contaminação da isolação destes motores é alto, sugerindo portanto, um rejuvenescimento (limpeza e secagem) do mesmo.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS EM INDÚSTRIA

Os resultados de IP e IA fornecidos de indústria de papel e celulose que foram incorporados neste trabalho, são motores que estão em constante funcionamento. Dez motores de 40 CV, dez de 125 CV e quatro de 2 CV foram analisados.

Entre todos os motores, apenas os de 2 CV apresentam resultados com uma isolação pobre, estes resultados são consequência da prioridade da manutenção, onde, na maioria dos casos, os motores de maior potência têm prioridade, uma vez que estes são mais caros, e muitas vezes tem uma importância significativa no processo de produção.

- Motores de 2 CV

Tabela 9 - Resultados obtidos de motores de 2CV da indústria

	Motores de 2 CV					Isolação
	Resistência de Isolamento (MΩ)			IP	IA	
	30 seg	1 min	10 min	-	-	
1	130000	200000	390000	1,95	1,54	Insatisfatório
2	220000	260000	320000	1,23	1,18	Ruim
3	10000	14000	30000	2,14	1,40	Bom
4	1000	2500	3500	1,40	2,50	Ruim

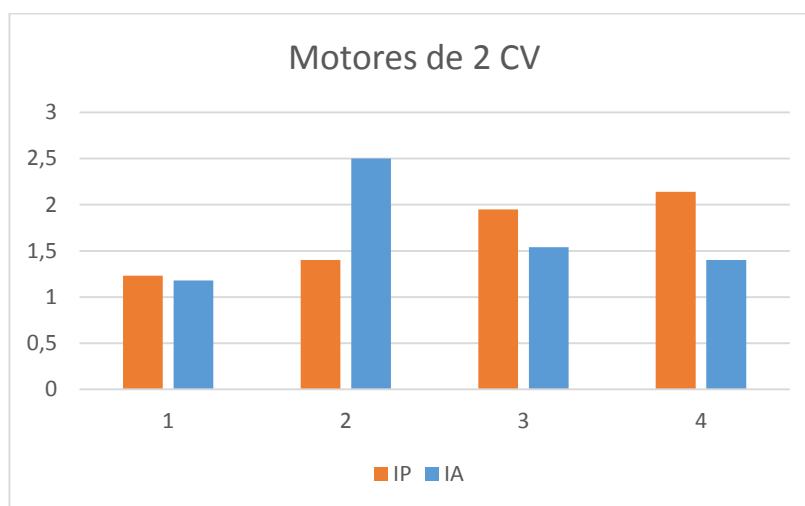


Figura 16 - Gráfico comparativo entre IP e IA para motores de 2 CV

- Motores de 40 CV

Tabela 10 - Resultados obtidos de motores de 40CV da indústria

	Motores de 40 CV					Isolação
	Resistência de Isolamento (MΩ)			IP	IA	
	30 seg	1 min	10 min	-	-	
1	2500	4000	8500	2,13	1,60	Bom
2	900	1500	3100	2,07	1,67	Bom
3	5000	10000	60000	6,00	2,00	Excelente
4	7000	10000	21000	2,10	1,43	Bom
5	12000	20000	100000	5,00	1,67	Excelente
6	3000	5000	11000	2,20	1,67	Bom
7	4000	4400	7500	1,70	1,10	Questionável
8	70000	100000	300000	3,00	1,43	Bom
9	1000	2500	6000	2,40	2,50	Bom
10	9000	15000	35000	2,33	1,67	Bom

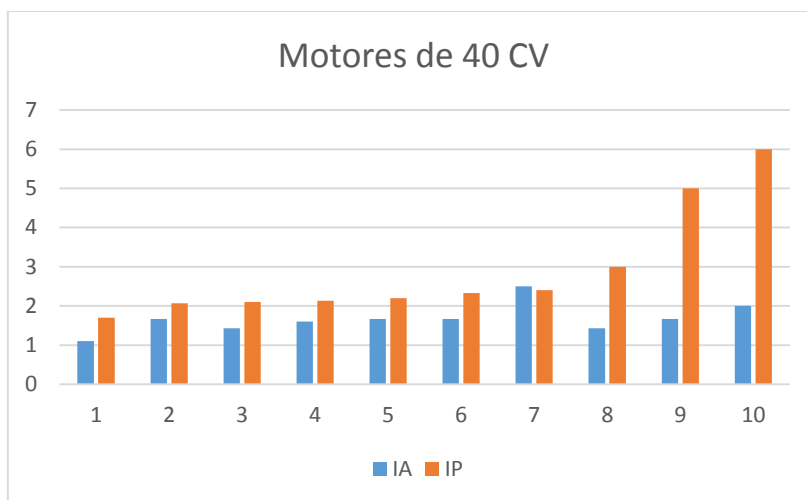


Figura 17 - Gráfico comparativo entre IP e IA para motores de 40 CV

- Motores de 125 CV

Tabela 11 - Resultados obtidos de motores de 125CV da indústria

	Motores de 125 CV					
	Resistência de Isolamento			IP	IA	Isolação
	30 seg	1 min	10 min	-	-	
1	50000	60000	150000	2,50	1,20	Questionavel
2	3000	4500	15000	3,33	1,50	Muito bom
3	14000	20000	100000	5,00	1,43	Muito Bom
4	6000	9000	20000	2,22	1,50	Bom
5	10000	25000	100000	4,00	2,50	Excelente
6	20000	40000	100000	2,50	2,00	Bom
7	10000	20000	44000	2,20	2,00	Bom
8	5000	5500	2500	0,45	1,10	Perigoso
9	6000	10000	40000	4,00	1,67	Excelente
10	900	2000	5000	2,50	2,22	Bom

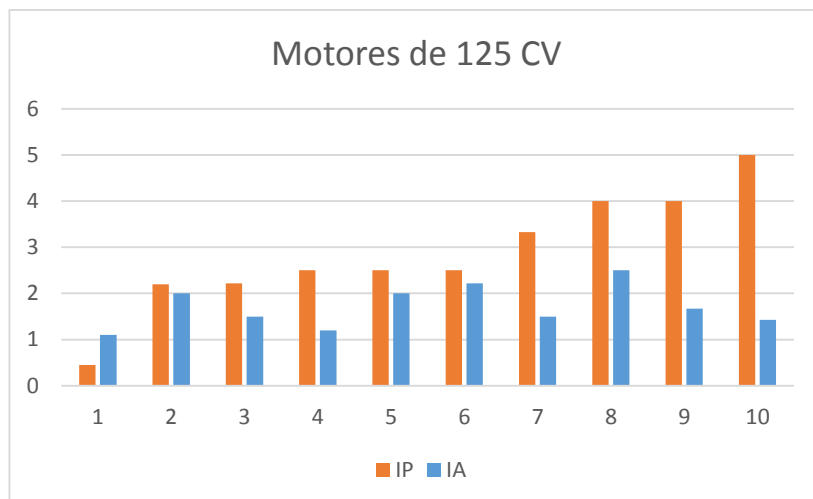


Figura 18 - Gráfico comparativo entre IP e IA para motores de 125 CV

4.3 RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO

Devida a necessidade de organização dos dados coletados, e a quantidade de informações essenciais para análise de resistência de isolamento, foi elaborado uma planilha constando os resultados do teste, facilitando a interpretação das condições de isolamento da máquina e servindo de base para o histórico da máquina. A análise da planilha contendo os parâmetros de medições, possibilita a necessidade ou não de implementação de ações visando solucionar problemas do motor.

O relatório de diagnósticos em motores deve ser utilizado como ferramenta da manutenção sempre que a mesma for aplicada, assim a necessidade de identificação do supervisor do equipamento e a data da ação, desta forma a criação do primeiro item do plano de manutenção, Figura 19.

RELATÓRIO DE DIAGNOSTICOS EM MOTORES			
Supervisor:		Data:	
Visto:			

Figura 19 - Etapa 1 do plano de manutenção

Na segunda etapa, Figura 20, fica o preenchimento dos dados do motor, com suas principais características.

Dados do Motor					
Localização:		Identificação:			
Potência:		Tensão:		Classe de Isolação:	

Figura 20 - Etapa 2 do plano de manutenção

Para aplicação do teste de isolação é necessário fazer um levantamento geral levando em consideração a temperatura ambiente, temperatura do motor e a umidade relativa do ar. Esses dados influenciam diretamente no valor da resistência de isolamento. É aconselhável a medição de resistência entre as fases, pois, cada ligação, RS, ST, RT devem ter seus valores próximos, para o caso de grandes variações entre eles é indicio de irregularidade no motor e que devem ser analisados.

Valores Medidos							
Geral		Resistência de Isolação (Mohms)				Resistência entre fases (Ohms)	
Temp. Amb. (°C):		R (Int.)	R (Ext.)	S (Ext)	T (Ext)	RS	
Temp. Motor (°C):	30s					ST	
Umid. Rel. Ar (%):	1 min					RT	
	10 min						

Figura 21 - Etapa 3 do plano de manutenção

Para facilitar os cálculos necessários foi inserida a tabela para cálculos, com as fórmulas e fator de correção para temperatura, e os parâmetros de IP e IA para serem comparados, Figura 22.

Valores Calculados								
Geral		Resistência de Isolação (Mohms)				Resistência entre fases (Ohms)		
Temp. Amb. (°C):		R (Int.)	R (Ext.)	S (Ext)	T (Ext)	RS		
Temp. Motor (°C):	30s					ST		
Umid. Rel. Ar (%):	1 min					RT		
	10 min							
	IA							
	IP							
Tabelas para Cálculos								
Correção para temperatura de 40°C				(IP) - Índice de Polarização		Resistência de Isolação Mínima		
$RI(40°C) = RI(t) \cdot \text{Fator KT}$				(IA) - Índice de Absorção		$RI(\text{min}) = U + 1 \text{ MOhm}$		
TEMP. °C	Fator KT	TEMP. °C	Fator KT	$IA = RI(1\text{min})/RI(30\text{seg})$		U - Tensão nominal do motor em kV		
110	128	50	2	$IP = RI(10\text{min})/RI(1\text{min})$		OBS.: Utilizar valor calculado de RI para 1 minuto		
100	64	45	1,5	OBS.: RI à 40°C				
90	32	40	1	Classificação	IP			IA
80	16	35	0,75	Perigoso				<1,0
75	12	30	0,5	Pobre	<1,1			<1,5
70	8	25	0,37	Questionável	1,1 à 1,25			1,5 à 2,0
65	6	20	0,25	Regular	1,25 à 1,4			2,0 à 3,0
60	4	15	0,18	Bom	1,4 à 1,6			3,0 à 4,0
55	3	10	0,12	Excelente	>1,6	>4,0		

Figura 22 - Etapa 4 do plano de manutenção

E por fim, Figura 23, a conclusão do relatório como diagnóstico, com espaço para livre para observações por parte do supervisor.

Diagnóstico		
	Aprovado	Observações:
	Aprovado com ressalvas	
	Reprovado	

Figura 23 - Etapa 5 do plano de manutenção

Temos assim a planilha completa para o plano de manutenção, Figura 24:

RELATÓRIO DE DIAGNOSTICOS EM MOTORES									
Supervisor:					Data:				
Visto:									
Dados do Motor									
Localização:			Identificação:						
Potência:		Tensão:		Classe de Isolação:					
Fechamen									
Valores Medidos									
Geral			Resistência de Isolação (Mohms)				Resistência entre fases (Ohms)		
Temp. Amb. (°C):			R (Int.)	R (Ext.)	S (Ext)	T (Ext)	RS		
Temp. Motor (°C):		30s					ST		
Umid. Rel. Ar (%):		1 min					RT		
		10 min							
Valores Calculados									
Geral			Resistência de Isolação (Mohms)				Resistência entre fases (Ohms)		
Temp. Amb. (°C):			R (Int.)	R (Ext.)	S (Ext)	T (Ext)	RS		
Temp. Motor (°C):		30s					ST		
Umid. Rel. Ar (%):		1 min					RT		
		10 min							
		IA							
		IP							
Tabelas para Cálculos									
Correção para temperatura de 40°C				(IP) - Índice de Polarização			Resistência de Isolação Mínima		
$RI(40^{\circ}C) = RI(t) * \text{Fator KT}$				(IA) - Índice de Absorção			$RI(\text{min}) = U + 1\text{M}\Omega$		
TEMP. °C	Fator KT	TEMP. °C	Fator KT	IA = RI (1min)/RI (30 seg)			U - Tensão nominal do motor em kV		
110	128	50	2	IP = RI(10min)/RI(1 min)					
100	64	45	1,5	OBS.: RI à 40°C					
90	32	40	1	Classificação	IP	IA	calculado de RI para 1 minuto		
80	16	35	0,75	Perigoso		<1,0			
75	12	30	0,5	Pobre	<1,1	<1,5			
70	8	25	0,37	Questionável	1,1 à 1,25	1,5 à 2,0			
65	6	20	0,25	Regular	1,25 à 1,4	2,0 à 3,0			
60	4	15	0,18	Bom	1,4 à 1,6	3,0 à 4,0			
55	3	10	0,12	Excelente	>1,6	>4,0			
Diagnóstico									
Aprovado					Observações:				
Aprovado com ressalvas									
Reprovado									

Figura 24 – Relatório de Manutenção

5 CONCLUSÃO

A manutenção é uma importante ferramenta para o bom desempenho da produção em uma indústria. Prezar pelo acompanhamento e ajustes dos equipamentos resultam em maior confiabilidade de todo o sistema. A princípio, os esforços necessários para a implantação de um plano podem parecer exagero, porém, a longo prazo, os esforços são dissolvidos e a manutenção se torna imprescindível.

Ao analisar o comportamento de duas situações distintas, em uma empresa com um plano de manutenção bem definido e um laboratório com motores sem manutenção, foi observado a importância da implementação de medidas de monitoramento e reparos. Quando comparadas as duas situações, foi possível observar que mesmo que os motores do laboratório, solicitados com menos frequência e em ambiente favorável não obtiveram bons resultados por não receberem manutenção. Diferente dos motores da empresa que mesmo que empregados por várias horas diárias e em ambientes não controlados, a maioria dos motores apresentaram um bom estado de isolação.

Os motores diagnosticados com uma isolação ruim, insatisfatória ou questionável devem ser submetidos a um processo de limpeza e secagem, que são realizadas em estufas próprias a esse processo. Durante a secagem destaca-se a importância do Índice de Polarização, onde, mediante valores periodicamente medidos pode-se determinar se o motor está seco e pode ser retirado da estufa.

Com a base teórica desenvolvida neste trabalho juntamente com a oportunidade de realizar a coleta de dados nos motores foi possível a elaboração do Relatório de Resistência de Isolamento. O formato desse relatório foi feito em uma série de tabelas de fácil preenchimento ao operador e com legendas para a interpretação dos resultados.

Como sugestão para trabalhos futuros tem-se como proposta o estudo de técnicas com sistemas inteligentes para auxiliar na determinação do diagnóstico do motor, gerando o relatório de manutenção automaticamente e de forma detalhada.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. E. **Motores elétricos: manutenção e testes**. 3 ed. São Paulo – SP. Hemus, 2004.

ABRAMAN. A situação da manutenção no Brasil – Documento Nacional 2011. **26º Congresso Brasileiro de Manutenção**, v.1, p. 1-18, set. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5383: Máquinas elétricas girantes**. Rio de Janeiro - RJ, 2002

BRASIL, T. G. **Projeto de um laboratório para ensaios de rotina de motores de indução trifásico de potência até 150 kW**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2006.

FLUKE. **Teste de Resistência de Isolação**. Belo Horizonte – MG, 2000.

GONGORA, W. S.. **Uma abordagem neural no diagnóstico de falhas em rolamentos de motores de indução trifásicos**. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio - PR, 2013.

IEC 60085 – **Electrical Insulation Thermal Classification**, 2004.

IEEE – **Recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery**. Std 43. New York, 2006.

KARDEC, A.; NASCIF, J.; BARONI, T. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark ABRAMAN, 2002.

KARDEC, A.; LAFRAIA, J. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro. Qualitymark: ABRAMAN, 2002.

KIMURA, K.; IWABUCHI, T.; MOROOKA, K; ISHIKAWA, Y. **IEEE Assessment Of Remaining Insulation Life of High Voltage Induction Motors**, 1989.

MEGGER. **The Complete Guide to Electrical Insulation Testing**, 2006.

MORÁN, A. V. **Manutenção Elétrica Industrial**. São Paulo, SP. Ícone, 1996.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas da Manutenção Preditiva**. São Paulo, SP. Editorial Edgard Blucher Ltda, 1989.

RODRIGUES, A. L. M. **Estudo Comparativo de sistema de Isolação em Motores MT**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Jaraguá do Sul, 2010.

SILVA, C. S. S. **Prescrição da Modalidade de Manutenção de Motores Elétricos Considerando o Custo de Manutenção e Depreciação do Ativo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012.

SOUZA, V. C. **Organização e Gerência da Manutenção**. São Paulo, SP. Ed. All Print, 2009.

SPAMER, F. R.. **Técnicas Preditivas de Manutenção de máquinas rotativas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2009.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte, MG. Ed. De Desenvolvimento Gerencial, 1998.

WEG. **Guia de Especificação de Motores Elétricos**. Jaraguá do Sul – SC, 2013.

WEG. **Danos em Enrolamentos**. Jaraguá do Sul – SC, 2012.

WEG. **Motores Elétricos**. Jaraguá do Sul – SC, 2009.

WEG. **Instalação e Manutenção de Motores Elétricos**. Jaraguá do Sul – SC, 2010.