



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

LUIZ PAULO DA SILVA BENICIO



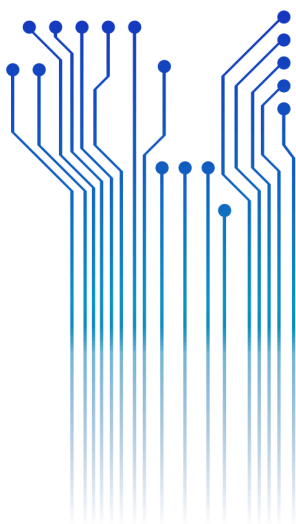
Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MANUTENÇÃO, SUA CONCEITUAÇÃO E CONTEXTO HISTÓRICO: APLICAÇÃO DE
ALGUMAS TÉCNICAS EM MOTORES ELÉTRICOS**



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2017

LUIZ PAULO DA SILVA BENICIO

MANUTENÇÃO, SUA CONCEITUAÇÃO E CONTEXTO HISTÓRICO: APLICAÇÃO DE ALGUMAS
TÉCNICAS EM MOTORES ELÉTRICOS

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

Área de Concentração: Eletrotécnica

Professor Célio Anésio da Silva, D.Sc.
Orientador

Campina Grande
2017

LUIZ PAULO DA SILVA BENICIO

MANUTENÇÃO, SUA CONCEITUAÇÃO E CONTEXTO HISTÓRICO: APLICAÇÃO DE ALGUMAS
TÉCNICAS EM MOTORES ELÉTRICOS

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

Área de Concentração: Eletrotécnica

Aprovado em 06/10/2017.

Professor Dr. Benedito Antonio Luciano
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Célio Anésio da Silva, D.Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família, amigos e colegas, que sempre me apoiaram para que eu pudesse conseguir aquilo que almejava.

AGRADECIMENTOS

Em tudo dai graças a DEUS, já dizia São Paulo. É a esse DEUS, o qual eu sirvo, que devo tudo que tenho e o que sou. Foi ELE que me sustentou juntamente com seu filho Jesus, pois sabemos de todas as dificuldades a qual eu estava cercado. Quando eu clamava em alta voz e até em meu silêncio, sempre me ouvia. Lutou, chorou, sorriu comigo. Assumia para si todas as minhas dores e desesperos. Junto com meu amigo Espírito Santo me orientou em cada passo, para que nada fosse o suficiente para me fazer desistir. Não posso esquecer daquela que me deu seu colo e me pedia para aguentar firme, muito obrigado minha mãe, Maria. Meus agradecimentos também são estendidos ao meu anjo fiel, meu amigo anjo da guarda.

Para falar a verdade, não tinha visto ainda um sonho ser mais desejado por outras pessoas do que pela própria pessoa que sonha. É verdade! Essas pessoas que estão realizadas pelas minhas conquistas me deram todo o suporte, posso até dizer que são os pilares de minha vida. Sim, foram elas que me deram o sustento, de ambos os sentidos que essa palavra carrega. Muito obrigado a Maria do Carmo (Mãe), José Antônio (Pai), Luiz Antônio, Luzivânia e Maria Luclécia, por sonharem mais que eu. Aproveito para agradecer a todos os meus familiares que de forma grandiosa acreditam em minha capacidade.

Esse DEUS que citei acima, entendia e sabia tudo que eu ia passar, como não poderia ser diferente com a sua misericórdia me trouxe amigos para suportar comigo todas as horas as quais não tinha mais força. Posso dizer com confiança que, além de um diploma Campina Grande me deu uma segunda família. Agradeço a todos que compõe esse laço, não sanguíneo, mas de coração. Obrigado Anndresa, Graciela, Laís, Lucas, Mariane, Monalisa, Ricardo e Thiago. Além dessa família, o Senhor me presentou com amigos que trilharam junto comigo todas as minhas dificuldades e me ajudaram a superá-las. Lenore, Lyvia, Alexandre, Gutemberg, Dany, Lucas, Ana, Priscila e Thainá, a vocês meu muito obrigado.

Por fim, e não menos importante, agradeço a todo o departamento de Engenharia Elétrica. Quero começar agradecendo a Zé Roberto (amigão) que sempre com sua simplicidade me tirava o peso que o curso trazia. Adail e Tchai muito obrigado pela

disponibilidade de vocês. Aos professores e em especial ao meu orientador, Prof^o Célio Anésio, que se prontificou a me ajudar nessa empreitada, meus agradecimentos.

*A caridade não é sinônimo
de fraqueza. Pelo contrário,
é característico de quem sabe
ser forte.*

Luiz Paulo Benicio.

RESUMO

Neste trabalho aborda-se o estudo sobre o histórico da manutenção industrial de modo a entender um pouco como se deu a evolução desta atividade. Delineia-se, também, o estudo das diferentes práticas e aplicações da manutenção que é classificada de acordo com as intervenções feitas no sistema. Apresenta, ainda, uma explanação dos conceitos básicos, diferenciando cada um para que se tenha um conhecimento desejável e assim poder entender o que é a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade. Além disso, é tratado algumas noções fundamentais sobre motor elétrico. A partir dessas noções, a compreensão da manutenção nesta máquina elétrica ficará mais fácil, devido aos termos que serão utilizados. Como toda máquina elétrica, o motor elétrico também apresenta falhas, então, ainda no trabalho será apresentado o conceito de falhas e também as possíveis causas de indisponibilidade dos motores de acordo com o diagnóstico feito.

Palavras-chave: Falhas, Manutenção Industrial, Motor Elétrico, Práticas da Manutenção.

ABSTRACT

In this work the study about the history of the industrial maintenance is approached in order to understand a little like an evolution of the activity. It also outlines the study of the different practices and applications of maintenance and the distribution of agreements, such as interventions made in the system. It also presents a study of the basic concepts, differentiating each one so that it is a desirable knowledge so that one can understand what is reliability, availability and maintainability. Also, some notions about the electric motor are addressed. From a notion, an understanding of the maintenance on the electric machine will become easier due to the terms that are used. Like all electrical machinery, the electric motor also has flaws, so it is still not a version of the work, the concept of failures and also as an option of unavailability of the motors according to the diagnosis.

Keywords: Failures, Electric Motor, Industrial Maintenance, Maintenance Practices.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Evolução Temporal da Manutenção Industrial.	20
Figura 2: Evolução Temporal da Manutenção Industrial até a quarta geração.	21
Figura 3: Tipos de Manutenção.	24
Figura 4: Manutenção Corretiva não planejada.	25
Figura 5: Manutenção Preventiva.	27
Figura 6: Manutenção preditiva.	29
Figura 7: Componentes de um motor elétrico de indução trifásico.	37
Figura 8: Componentes de um motor elétrico de indução monofásico.	39
Figura 9: Termograma	41
Figura 10: Detalhe do Rolamento.	43
Figura 11: Curto circuito entre fases.	49
Figura 12: Curto circuito entre espiras.	49
Figura 13: Enrolamento danificado por sobrecarga	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Aplicação de Recursos na Manutenção	31
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Paradigmas da Manutenção.....	32
Quadro 2: Etapas de Lubrificação	44
Quadro 3: Defeito e Possíveis Causas	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	Introdução	15
1.1	Objetivos	17
1.2	Método Adotado	17
1.3	Estrutura do Trabalho	17
2	Histórico da Manutenção	19
3	Manutenção: Definição e Tipos	23
3.1	Definição.....	23
3.2	Tipos de Manutenção.....	23
3.2.1	Manutenção Corretiva	24
3.2.2	Manutenção Preventiva	26
3.2.3	Manutenção Preditiva.....	28
3.2.4	Manutenção Detectiva.....	29
3.2.5	Engenharia de Manutenção	30
4	Conceitos Básicos de Manutenção.....	33
4.1	Confiabilidade.....	33
4.2	Manutenabilidade ou Mantenabilidade.....	34
4.3	Disponibilidade	35
5	Motores Elétricos	37
5.1	Manutenção em motores elétricos	39
5.1.1	Limpeza	42
5.1.2	Lubrificação	42
5.1.3	Intervalos de lubrificação	43
5.1.4	Instruções para lubrificação	43
6	Falhas em motores elétricos.....	45
6.1	Definição.....	45
6.2	Análise de causas e falhas em motores elétricos	46
7	Conclusão.....	51
	Referências	53

1 INTRODUÇÃO

Em uma época que a expansão tecnológica é crescente, é inconcebível pensarmos em uma indústria, independente do porte e segmento, onde a qualidade de seus produtos não esteja ligada à uma boa manutenção de seus equipamentos (Fuentes, 2006).

A manutenção industrial não se restringe a um setor da empresa cujo intuito é reparar ou consertar o que está danificado. Quando associada ao setor de produção, influencia diretamente na produtividade, qualidade e no custo de fabricação do produto.

Em linhas gerais, a atividade de manutenção executada de forma correta contribui para que a empresa galgue rumo à excelência, tendo em vista que irá prevenir falhas futuras. Se porventura, vier a acontecer algum problema no desempenho do equipamento, se faz necessário uma análise técnica para que se tomem as medidas cabíveis, buscando saber o porquê do defeito, amenizando, assim, o impacto danoso nas linhas de produção. Uma boa gestão na manutenção traz benefícios à empresa tais como redução do tempo de produção e um aumento na produtividade.

Com o passar do tempo e o avanço tecnológico as máquinas foram se tornando cada vez mais complexas, leves e rápidas, tais qualidades fazem com que todo o maquinário precise de operadores mais preparados, precise de uma manutenção adequada e eficiente. Por outro lado, o produto final chega com mais qualidade nas mãos dos clientes. O padrão de qualidade, então, é diretamente proporcional ao bom funcionamento do maquinário da indústria. Portanto, caso haja algum defeito, não para apenas a máquina defeituosa, mas também toda a linha de produção, ocasionando custos para a empresa.

Para tal, a Gestão da Manutenção exerce um importante papel no que diz respeito a garantia da confiabilidade dos equipamentos ligados ao processo por meio de funções fundamentais e estratégicas em uma organização, uma vez que não é permitido quaisquer interrupções inesperadas no ritmo de produção das mais variadas plantas industriais.

Posto isto, Nepomuceno (1989, p. 2) ratifica:

Normalmente, a manutenção é chamada para reparar um equipamento que se quebrou. As causas e origens da quebra são sempre atribuídas a fatores fortuitos ou erro do operador ou do material e o que interessa é o consertar o quanto antes para que a produção não seja interrompida.

Pelos motivos supracitados, a manutenção não se limita apenas em prevenir ou consertar algum defeito, mas a ser parte integrante do sistema de gestão de qualidade da empresa.

Isto posto, a manutenção é classificada de acordo com as atividades realizadas no sistema, possuindo diferentes práticas. Tais práticas são, manutenção corretiva (planejada e não planejada), preventiva, preditiva, detectiva e engenharia de manutenção.

No que diz respeito aos motores elétricos, os tipos mais comuns de manutenção são corretivas, preventivas e preditivas.

Considerada um dos ramos técnicos mais em desenvolvimento na atualidade, a manutenção nos motores elétricos, é uma ferramenta primordial na garantia de operação contínua das instalações que são incumbidas de fornecimento e aproveitamento da energia elétrica.

Tratando-se de desenvolvimento tecnológico, WEG (2016, p. 3) aponta:

Onde quer que haja progresso, a presença do motor elétrico é imprescindível. Desempenhando um importante papel para a sociedade, os motores são o coração das máquinas modernas, por essa razão é necessário conhecer seus princípios fundamentais de funcionamento, desde a construção até as aplicações.

Conforme visto, o motor elétrico é uma máquina elétrica e como toda máquina, precisa de manutenção. No presente trabalho tratar-se-á alguns métodos e técnicas utilizadas na execução desta atividade. Ainda, mostrará que a manutenção não implica, obrigatoriamente, em fazer abertura, desmontando e remotando o motor, e sim a realização de alguns procedimentos padrão.

Portanto, as inspeções de rotina são importantes, dado que se precisa saber como estão as condições de operação dos motores. Desta maneira, com estas inspeções serão feitos levantamentos de informações capazes de atestar se há existência ou progresso de algum tipo de falha.

Neste sentido, a manutenção, de maneira geral, tem por objetivo salvaguardar os equipamentos/maquinários de possíveis danos ou interrupções indesejadas por meio da prevenção ou até mesmo eliminação das causas potenciais de falha. Assim, facilitará o trabalho dos engenheiros, técnicos e quaisquer profissionais envolvidos com esta atividade, desassociando, ainda, a palavra manutenção a improvisos e arranjos.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho de conclusão de curso tem por objetivo apresentar um estudo bibliográfico no que se refere à Manutenção. Conceituá-la, de modo a diferenciar seus tipos, conhecer sua história e a partir disso aplicar alguns de seus tipos em motores elétricos. Ainda, mostrar as possíveis causas de indisponibilidade nos referidos motores.

1.2 MÉTODO ADOTADO

O método adotado para fundamentar o trabalho tomou como base:

- Estudo da história da manutenção;
- Estudo dos conceitos e tipos de manutenção;
- Estudo da manutenção em motores elétricos; e
- Estudo das possíveis falhas em motores elétricos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em oito capítulos que serão sucintamente descritos a seguir:

Conforme visto, no Capítulo 1 são apresentadas às considerações iniciais, os objetivos e a metodologia da pesquisa.

No Capítulo 2 descreve-se o estudo do histórico da manutenção, apresentando todas as evoluções temporais.

No Capítulo 3 é apresentado um estudo da manutenção com o objetivo de se ter o conhecimento do que se trata esta atividade e, ainda, mostrar os tipos, conceituando cada um.

No Capítulo 4 apresenta-se os conceitos básicos da manutenção, diferenciando a confiabilidade da disponibilidade, bem como, da manutenibilidade.

Já no Capítulo 5, há uma apresentação de motores elétricos com o foco direcionado a mostrar como se dá a manutenção no mesmo.

No Capítulo 6 é apresentado um estudo dos conceitos de falhas e, ainda, os defeitos nos motores, bem como, suas possíveis causas.

Por fim, no Capítulo 7 listam-se as considerações finais do trabalho.

2 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

Desde os primórdios das civilizações podia ser observado algumas técnicas simples de manutenção, como fazer pequenos reparos em objetos e ferramentas de trabalho. Durante certo tempo a manutenção não existia, pois não tinha nenhuma máquina, tudo era produzido sob encomenda.

Entretanto, com o surgimento da Revolução Industrial e, conseqüentemente, da máquina à vapor, século XVIII, de forma simples a manutenção emergiu, tendo como função primordial não deixar o trabalho ser interrompido. Todos os reparos ou consertos realizados nos equipamentos só eram executados após sua falha/indisponibilidade. Para que esses reparos fossem executados de maneira eficiente, em menor tempo possível e viabilizando a produção industrial, os operadores dos maquinários passaram por um treinamento de qualificação profissional.

Segundo Filho (2008), o que se conhece até agora sobre manutenção industrial realizada pelo próprio operador durou até a primeira Guerra Mundial, pois o modelo Fordista introduziu um sistema de manutenção mais robusto e ágil, dando origem ao que hoje conhecemos como manutenção corretiva.

Neste cenário, toda parte de consertos e/ou reparos eram executados pelos próprios operadores dos maquinários, que de forma emergencial depois da falha ou indisponibilidade do equipamento paravam de operar e se sujeitavam à manutenção corretiva. Foi no decênio de 1930 que se passou a praticar o monitoramento da manutenção com relação a gastar menos tempo, pois via-se a necessidade de uma produção maior e mais compacta. Assim, teve início o que hoje denominamos de manutenção preventiva (Costa, 2013).

De acordo com o que se conhece sobre a manutenção, a prevenção de falhas e também seu controle mais efetivo passaram a compor o dia a dia dos operários das indústrias trazendo bons resultados como aumento na confiabilidade do maquinário em uso, diminuição de riscos à saúde dos operários e aumento na segurança da operação, etc.

Mesmo com todos os benefícios provenientes desta atividade não se pode deixar de lado os pontos negativos, e como principal ponto temos o custo. Com a introdução da variável custo na manutenção, os preços dos produtos são afetados de maneira direta. Então, analisando, pode-se perceber que o custo do produto final é diretamente

proporcional aos custos acarretados pela manutenção. Como as empresas estão interessadas na lucratividade os gastos da manutenção preventiva não foram bem aceitos (Nepomuceno, 1989).

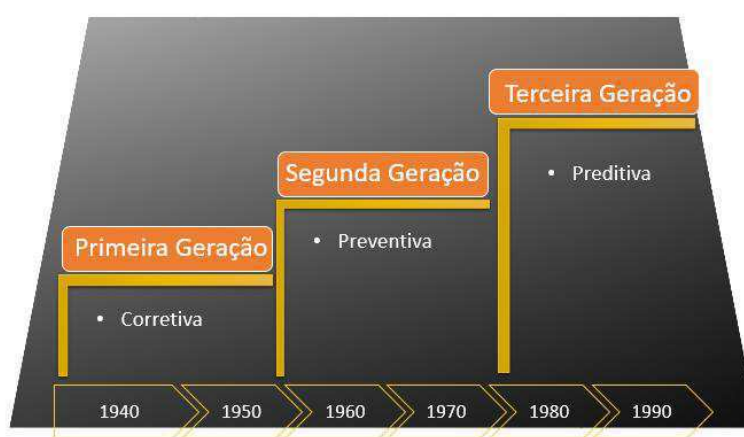
Nesse contexto, entre 1950 e 1970, o objetivo fundamental dos proprietários das indústrias era atenuar tudo aquilo que seria gasto. Para tal, as empresas queriam a baixo custo uma maior variabilidade de equipamentos e mão de obra especializada. Porém, para Nepomuceno (1989) o mais importante não é a redução de custo e sim a realizá-los de maneira eficiente.

A partir do decênio de 1950 nasceu o que podemos conceituar como manutenção preditiva. Foi nessa década que surgiu a ideia de montar uma equipe que ficasse responsável por estudar maneiras de melhorar a confiabilidade dos maquinários (Moubray, 2000).

Dada a complexidade das instalações industriais houve a necessidade de elaborar metodologias de previsão de falhas, criar equipes que aproveitem da melhor forma possível os recursos disponíveis. Dessa maneira, se cada passo for cumprido coerente com o que foi proposto a manutenção pode ser considerada eficiente. Outro fator importante na previsão de falhas é ter um sistema informatizado, pois na utilização desse sistema os reparos são executados com mais rapidez e, conseqüentemente, a produção sofre ligeira interrupção (Nepomuceno, 1989).

Em contrapartida, de acordo com Kardec & Nascif (2009), a manutenção desde o decênio de 1930 tem passado por diversas mudanças. De forma geral, a história da manutenção é dividida em três gerações distintas, cuja evolução temporal da manutenção industrial especificando cada geração é apresentada na Figura 1.

Figura 1: Evolução Temporal da Manutenção Industrial.



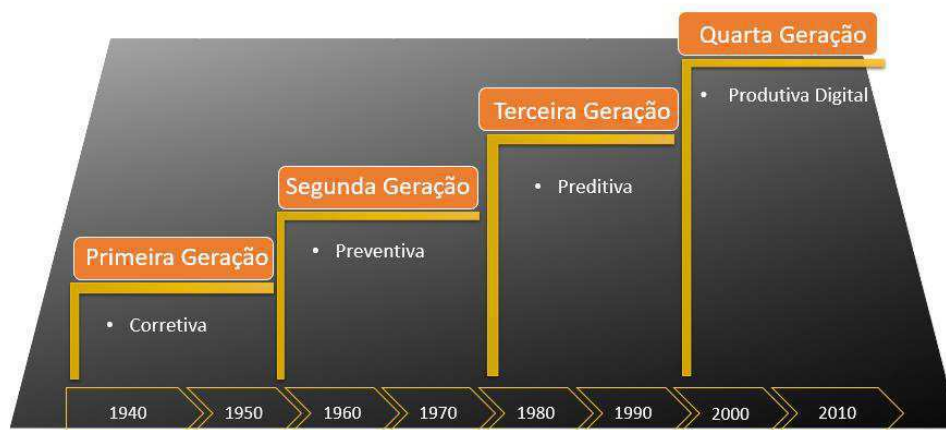
Fonte: Próprio Autor (2017).

Para Trombeta (2006):

Hoje vivemos um cenário de competitividade global e a manutenção está, literalmente, cada vez mais perdendo o seu significado. Quando falamos em manutenção, estamos nos referindo a um sistema de gestão, ou seja, uma nova organização da forma de entendimento da necessidade de sinergia entre todos os departamentos envolvidos nos processos produtivos. Assim, podemos dizer que o termo “manutenção” aos poucos será substituído por “gestão de ativos”, pois esta nova visão não é de responsabilidade apenas do Departamento de Manutenção, mas de toda a empresa, e o que se espera é RESULTADO.

Assim, para maior entendimento da época de surgimento desta quarta geração classificada por Trombeta (2006), essa evolução da manutenção é mostrada na Figura 2.

Figura 2: Evolução Temporal da Manutenção Industrial até a quarta geração.



Fonte: Próprio Autor (2017).

De acordo com Kardec & Nascif (2009), a primeira geração compreende o período antes da Segunda Guerra Mundial, onde não se tinha a preocupação com a produção e a indústria era muito mecanizada. Nesse contexto, a manutenção era basicamente corretiva, em outras palavras, os reparos só eram executados após alguma falha ou indisponibilidade do maquinário.

Por sua vez, a segunda geração é classificada como a época em que surgiu a manutenção preventiva. Esta geração vai desde o final da Segunda Guerra Mundial até meados do decênio de 1960. Como as fábricas estavam muito dependentes do funcionamento correto das máquinas, as falhas poderiam e deveriam ser previstas para que não atrapalhassem a operacionalidade do sistema. A manutenção nessa década era

feita rotineiramente e consistia em intervenções feitas em um intervalo fixo (Kardec & Nascif, 2009).

Por fim, Kardec & Nascif (2009) classificam a terceira geração como a geração que reforça o conceito da manutenção preditiva. Neste período passou a existir uma grande preocupação com a confiabilidade e a alta disponibilidade dos equipamentos. Pois, as empresas precisam satisfazer as expectativas em relação a preservação ambiental e segurança, caso isso não seja atendido elas serão impossibilitadas de operar. Também é nessa geração que passa a se exigir mais dos produtos finais. Com o crescimento da automação significa que a ocorrência de falhas com uma frequência maior afetará diretamente na capacidade de manter os padrões de qualidade estabelecidos. Então, a paralização da produção era uma preocupação generalizada nas empresas após o decênio de 1970.

Trombeta (2006) afirma que estamos vivenciando a quarta geração da manutenção, que tem como foco maximizar a eficácia de um ativo, minimizar os efeitos e/ou a probabilidades de falhas, reduzir perdas e maximizar ganhos. Assim como Trombeta (2006), Siqueira (2012) concorda e completa dizendo que esta geração tende a utilizar o modelo de Gestão de Ativos combinado com a Gestão de Risco, pois a partir dessa junção ter-se-á uma visão mais clara de prejuízos que podem ser evitados e benefícios que podem ser alcançados, no que diz respeito à esfera de gestão.

3 MANUTENÇÃO: DEFINIÇÃO E TIPOS

3.1 DEFINIÇÃO

No Dicionário de Aurélio (2017), a manutenção é definida como “ação ou efeito de manter”. Os autores Kardec & Nascif (2009, p.23) definem manutenção industrial como “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalação de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custo adequados”.

Em 1994, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, pela NBR 5462 definiu o termo manutenção como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Por sua vez, Nepomuceno (1989), afirma que manutenção é o ato de consertar ou reparar, visto que todo e qualquer equipamento ou maquinário, seja ele simples ou sofisticado, necessita de um acompanhamento quando o mesmo vier à indisponibilidade.

Em linhas gerais, a manutenção em uma indústria tem por finalidade:

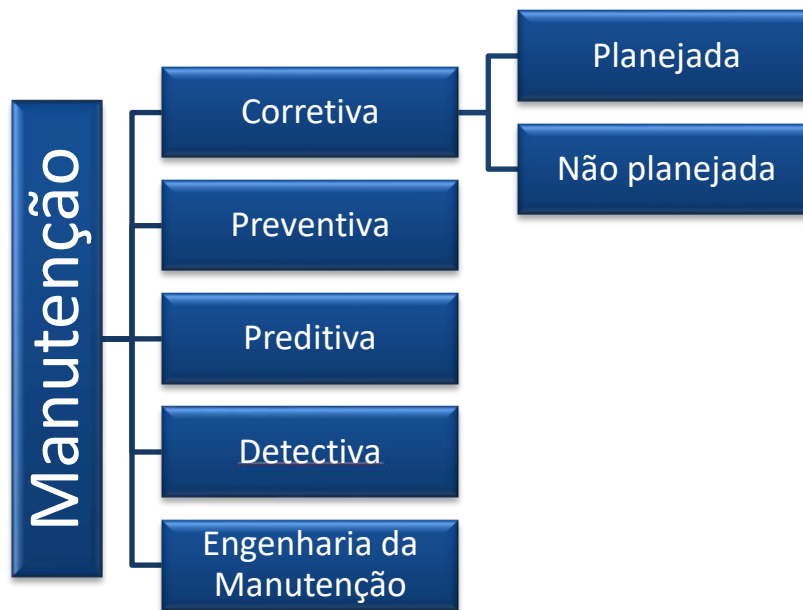
- Conservar os equipamentos e máquinas em condições satisfatórias de operação e as suas atividades cobrem uma faixa bastante ampla de funções (Nepomuceno, 1989, p. 15);
- Como todo equipamento apresenta desgaste, tal desgaste leva, invariavelmente, ao rompimento ou quebra de um ou mais componentes. Quando isto acontece aparece a necessidade de realizar um conserto (Nepomuceno, 1989, p. 16); e
- Prever possíveis quebras ou falhas de um determinado dispositivo do sistema.

3.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção possui diferentes práticas de aplicações e de acordo com as intervenções feitas no sistema podemos classificar os tipos desta atividade. Conforme

mostrado na Figura 3, existem seis práticas precípuas da manutenção são elas: manutenção corretiva planejada e não planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção.

Figura 3: Tipos de Manutenção.



Fonte: Próprio Autor (2017).

Neste trabalho será descrito cada tipo desta atividade de modo a distingui-las, mostrando o que podem trazer como resultado.

3.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

Manutenção corretiva é a forma mais simples de atuação na falha ou indisponibilidade do equipamento. A manutenção corretiva é a forma mais simples e mais antiga desta atividade. De acordo com Nepomuceno (1989, p.46), a “manutenção como executada habitualmente, consiste simplesmente em substituir peças ou componentes que se desgastaram e que levaram a máquina ou equipamento a uma parada, por falha ou pane num ou mais componentes”.

Sendo assim, podemos inferir que a manutenção corretiva tem como principal função corrigir ou restaurar o desempenho do sistema ou equipamento (Kardec & Nascif, 2009).

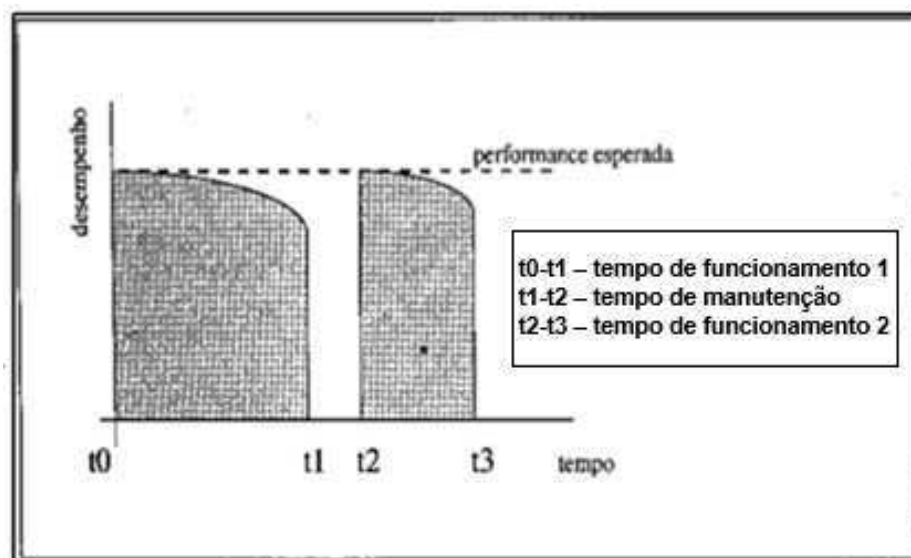
Este tipo de manutenção se subdivide em duas classes:

- Manutenção corretiva não planejada; e
- Manutenção corretiva planejada.

Manutenção corretiva não planejada – É a correção da falha de maneira aleatória sem dá tempo da equipe de manutenção se preparar para o serviço. Caracteriza-se pela atuação da equipe de reparo/conserto após a falha ou desempenho menor do que o esperado. Segundo Kardec & Nascif (2009), normalmente este tipo de manutenção implica em altos custos, pois a quebra de um equipamento ocasiona uma perda na produção, elevados custos indiretos de manutenção e a perda da qualidade do produto final. Levando em consideração a competitividade de mercado quando uma empresa tem a maior parte de sua manutenção baseada na corretiva não planejada a equipe responsável por esta atividade acaba sendo administrado pelas falhas dos equipamentos ou sua indisponibilidade.

O desempenho de um equipamento quando faz uso de manutenção corretiva não planejada é mostrada na Figura 4.

Figura 4: Manutenção Corretiva não planejada.



Fonte: Adaptado de Kardec & Nascif (2009).

Conforme observado na Figura 4, a medida que o tempo avança o desempenho do equipamento diminui.

Manutenção corretiva planejada – É a correção da falha por uma equipe já preparada. Vale salientar que quando um trabalho é planejado ele passa a ser bem mais econômico do que um que não teve um planejamento, e também, a qualidade de seu conserto ou

reparo é bem maior. A principal característica dessa classe da manutenção corretiva, segundo Kardec & Nascif (2009), é função da qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento. Como a falha é esperada este tipo de manutenção possibilita a equipe o planejamento dos recursos que serão utilizados para fazer determinadas intervenções caso ocorra alguma eventualidade.

Cada classe desse tipo de manutenção traz consigo suas consequências. Sendo assim, é de fundamental importância distinguir as consequências da manutenção corretiva planejada da não planejada. Kardec & Nascif (2009) aponta que além da planejada trazer benefícios, tais como, redução das perdas de produção ou até mesmo eliminação dessas perdas, esta classe apresenta uma redução dos custos e do tempo de reparo. Estes fatores são importantes para que a indústria opte por fazer este tipo de manutenção corretiva. Por sua vez, na não planejada ocorre exatamente o inverso.

Kardec & Nascif (2009, p. 42) citam alguns pontos importantes que fazem com que a manutenção corretiva planejada apresente melhores resultados:

- Possibilidade de compatibilizar a necessidade da intervenção com os interesses da produção;
- Melhor planejamento dos serviços;
- Garantia da existência de sobressalentes, equipamentos e ferramental; e
- Garantia da existência de recursos humanos com a qualificação necessária para a execução dos serviços e em quantidade suficiente, que podem, inclusive, serem buscados externamente à organização.

3.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Manutenção preventiva é um tipo de manutenção que como o próprio nome sugere, consiste numa atuação de modo a prevenir defeitos oriundos de uma parada ou desempenho menor do que o esperado, obedecendo a um planejamento previamente elaborado, baseado em intervalos de tempo.

As empresas buscam saber o tempo provável que a falha ocorrerá por meio de dados estatísticos, pois sabe-se que ocorrerá a falha, mas não quando.

Segundo Kardec & Nascif (2009), ao se adotar este tipo de manutenção à existência de duas situações distintas na fase inicial de operação:

- Ocorrência de falhas antes de completar o período estimado, pelo mantenedor, para intervenção; e

- Abertura do equipamento/reposição de componentes prematuramente.

Alguns aspectos devem ser levados em consideração ao se adotar a manutenção preventiva. Este tipo de manutenção só deve ser realizado nos seguintes casos (Kardec & Nascif, 2009):

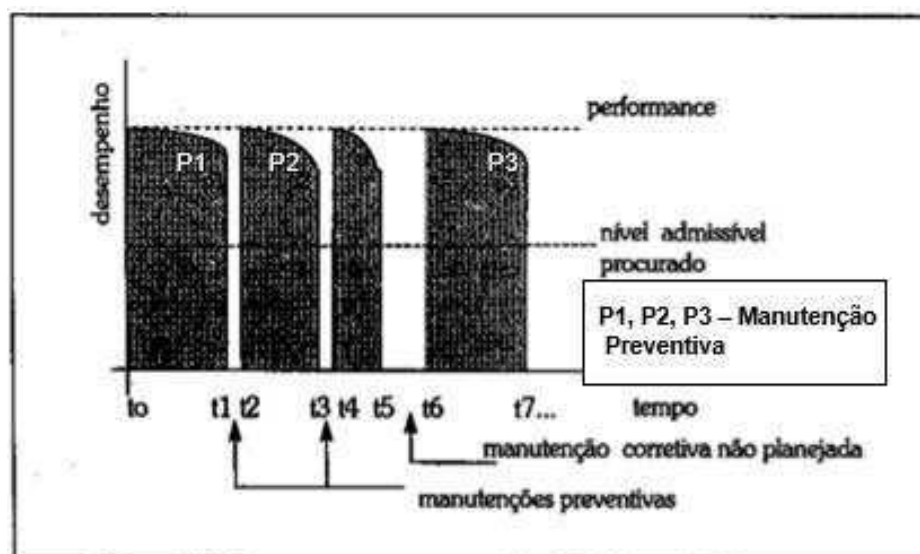
- Quando não é possível a preditiva;
- Quando estão envolvidas segurança pessoal ou operacional;
- Quando há oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação;
- Quando afeta a continuidade operacional; e
- Quando pode colocar em risco o meio ambiente.

Ainda, de acordo Kardec & Nascif (2009), a manutenção preventiva tem como ponto negativo a introdução de falhas não existentes nos equipamentos devido:

- Falha humana;
- Falha de sobressalentes;
- Contaminações introduzidas no sistema de óleo;
- Danos durante partidas e paradas; e
- Falhas dos Procedimentos de Manutenção.

O comportamento de um determinado equipamento utilizando a manutenção preventiva é mostrado na Figura 5.

Figura 5: Manutenção Preventiva.



Fonte: Adaptado de Kardec & Nascif (2009).

3.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva consiste em uma técnica pela qual a manutenção é executada antes mesmo que haja um rompimento ou alguma falha. Este tipo de atividade realiza análises periódicas dos parâmetros de desempenho dos equipamentos, dessa forma toda intervenção que for feita no maquinário será de maneira precisa, uma vez que está acontecendo um acompanhamento pela parte do departamento de manutenção da indústria.

Segundo Kardec & Nascif (2009), a preditiva também é conhecida como manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento. É o tipo de manutenção que apresenta melhores resultados advindos de poucas intervenções realizadas na planta.

É de extrema importância que o operador que irá realizar as intervenções no equipamento seja alguém que tenha um bom treinamento. Pois eles não têm que apenas chegar no maquinário e fazer a medição, também tem que analisar cada parâmetro, resultados e a partir disso gerar uma prescrição com todos os diagnósticos. Embora isto seja dito e explicado de forma clara, as empresas ainda negligenciam as intervenções, de tal maneira que os dados que são coletados e registrados não são seguidos quando as intervenções são realizadas. Assim há uma qualidade na coleta, mas não há na realização no reparo/conserto.

Nepomuceno (1989) aponta que com este tipo de manutenção oferece ao parque industrial uma redução de custos e, ainda, aumenta a vida útil do equipamento que para a indústria tem um custo vultoso.

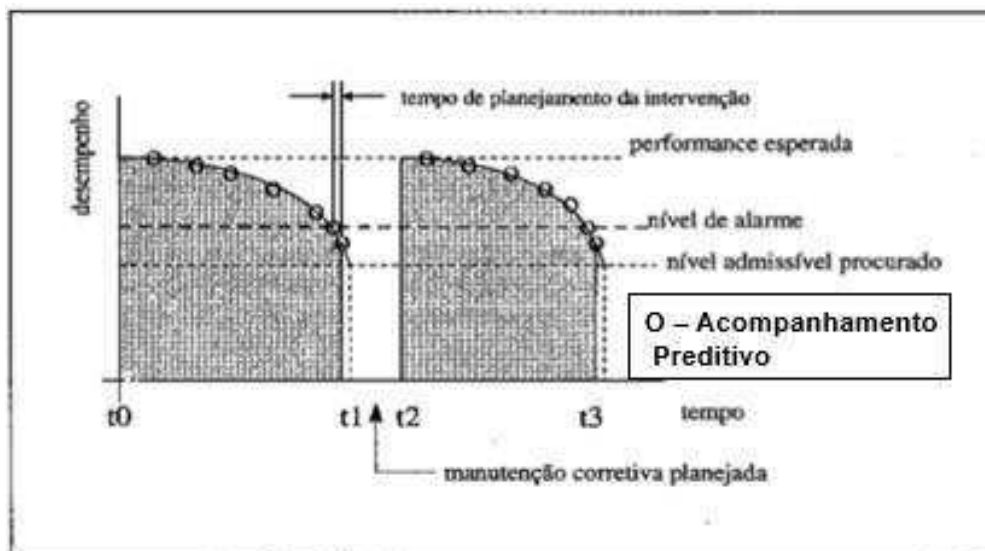
Ainda segundo Nepomuceno (1989, p.46), o diagnóstico para manutenção preditiva é importante pois:

Através do mesmo, ficar-se-á sabendo qual o estado de determinado ou determinados componentes, quando os mesmos apresentarão falhas e como programar a sua substituição antes da ocorrência da situação crítica que leva ao rompimento e conseqüente parada do equipamento.

Outra vantagem que esta técnica de manutenção traz é a alta margem de certeza de que um equipamento pode a vir falhar, predizendo a condição de cada componente.

O desempenho de um equipamento quando faz uso de manutenção preditiva é mostrada na Figura 6.

Figura 6: Manutenção preditiva.



Fonte: Adaptado de Kardec & Nascif (2009).

Conforme visto na Figura 6, é feito um acompanhamento preditivo buscando as possíveis falhas no equipamento, de modo a fazer uma manutenção assertiva. O tempo de planejamento da intervenção, TP, surge no nível de alarme com o intuito de mostrar que se faz necessário a correção da falha.

3.2.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA

Como o próprio nome sugere, manutenção detectiva é o tipo de manutenção que tem como finalidade detectar alguma anomalia no desempenho do maquinário. Esta estratégia de manutenção viabiliza a um longo prazo um bom funcionamento dos maquinários bem como dos equipamentos que fazem parte da produção de uma indústria.

Para Kardec & Nascif (2009): “Manutenção Detectiva é a atuação efetuada em sistemas de produção buscando detectar FALHAS OCULTAS ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção”.

Nesta manutenção as inspeções no sistema são feitas com os equipamentos ainda em funcionamento, podendo fazer a correção sem tirar a máquina de seu estado operante. Por detectar as falhas ocultas é considerada uma manutenção de alta confiabilidade.

Como característica principal, diferindo da Manutenção Preditiva, a Manutenção Detectiva deve ter um nível de permissão de atuação automatizado elevado. Assim, o usuário pode ter leituras em tempo real da situação que está o sistema. Ou seja, enquanto que na manutenção preditiva os dados são colhidos e analisados após o acontecimento,

na manutenção detectiva são lidos em tempo real, apresentando o comportamento do sistema no momento em que ele ocorre, possibilitando corrigir o problema assim que ele é detectado (Bechtold, 2010).

3.2.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Quando surgiu a Manutenção Preditiva a manutenção teve a primeira grande quebra de paradigma. As quebras de paradigmas existem pelo fato do avanço tecnológico está tomando espaço desenvolvendo equipamentos que fazem análise de forma precisa deixando a avaliação com um alto grau de confiabilidade.

A medida que os equipamentos que fazem as análises das instalações e do sistema operacional ainda em operação adquirem mais tecnologia, a manutenção é executada de maneira automatizada. Assim, com esse avanço chegou-se a segunda maior quebra de paradigma da manutenção com o surgimento da engenharia de manutenção.

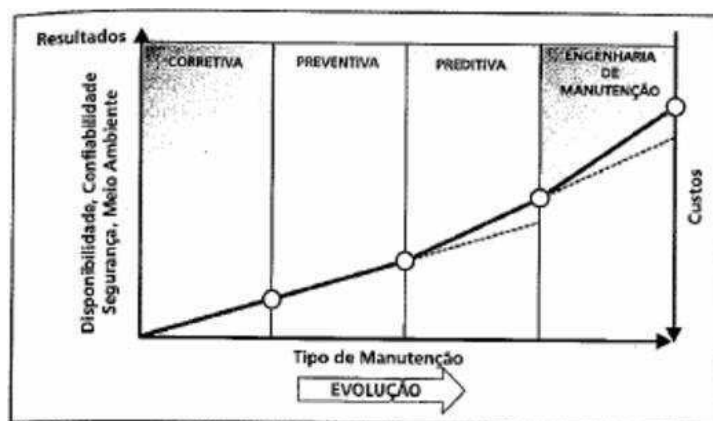
Segundo Kardec & Nascif (2009), a engenharia de manutenção tem por finalidade modernizar as técnicas aplicadas a manutenção, levando-a a um nível de 1º mundo. Além disso, é o tipo de manutenção que significa perseguir *benchmarks*.

É este tipo de manutenção que torna mais robusta a política de melhoria de forma continuada, visto que é feita não só uma supervisão preditiva do equipamento, associado a isso é feita a coleta de dados e informações que permitirão posteriormente fazer avaliações, trazendo melhorias de produção para a empresa que adotar as ideias da engenharia manutenção.

Para corroborar o que foi supracitado, Kardec & Nascif (2009) apontam que no momento que a estruturação de manutenção de uma determinada planta pratica a engenharia de manutenção, está de forma direta utilizando análises de estudo e proposições de melhorias decorrentes de dados colhidos e armazenados pelo sistema de preditiva.

Na Figura 7 é elucidado a melhoria dos resultados da manutenção conforme se adquiria conhecimentos tecnológicos no modo de análise de cada equipamento. Percebemos que a mudança de Corretiva para Preventiva é bem singela, onde a inclinação da reta não se modifica. Porém, da Preventiva para a Preditiva ocorre a primeira e grande quebra do paradigma, onde há uma otimização dos resultados. Essa otimização se acentua com o surgimento da Engenharia de Manutenção, conforme observa-se na Figura 7, quando ocorre outra grande quebra de paradigma da manutenção.

Figura 7: Resultados x Tipos de Manutenção.



Fonte: Kardec & Nascif (2009).

Dados do Documento Nacional do ano de 2013 da Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) indicam o quanto as indústrias investem em cada tipo de manutenção. Segundo o mesmo documento, o tipo de manutenção que mais recebeu aplicação de recursos por parte das empresas no ano de 2013 foi a manutenção preventiva atingindo 36,55%. Infelizmente, mesmo com os avanços tecnológicos a manutenção corretiva ocupa segundo lugar neste mesmo ranking, embora tenha-se muitas informações o quanto esta prática custa caro (Tabela 1).

Tabela 1: Aplicação de Recursos na Manutenção

Aplicação de Recursos na Manutenção (%)				
Ano	Manutenção Corretiva	Manutenção Preventiva	Manutenção Preditiva	Outros
2013	30,86	36,55	18,82	13,77
2011	27,40	37,17	18,51	16,92
2009	26,69	40,41	17,81	15,09
2007	25,61	38,78	17,09	18,51
2005	32,11	39,03	16,48	12,38
2003	29,98	35,49	17,76	16,77
2001	28,05	35,67	18,87	17,41
1999	27,85	35,84	17,17	19,14
1997	25,53	28,75	18,54	27,18
1995	32,80	35,00	18,64	13,56

Fonte: Documento Nacional 2013: A situação da Manutenção no Brasil. Elaborado por ABRAMAN.

Nos dias atuais é inadmissível que as máquinas/equipamentos tenham sua disponibilidade reduzida, vindo posteriormente a parar, não havendo uma previsão dessa falha/indisponibilidade. Kardec & Nascif (2009, p. 18) destacam, “Boa parte das empresas brasileiras ainda atua dentro do paradigma do passado, sendo que algumas já conseguiram caminhar para o paradigma moderno e estão dando grandes saltos nos resultados empresariais”.

No Quadro 1 é mostrado os paradigmas com suas respectivas definições segundo Kardec & Nascif (2009)

Quadro 1: Paradigmas da Manutenção.

Paradigmas da Manutenção	
Paradigma do Passado	O homem de manutenção sente-se bem quando executa um bom reparo.
Paradigma Moderno	O homem de manutenção sente-se bem quando, também, evita a necessidade do trabalho, evita a falha.
Paradigma do Futuro	O homem de manutenção sente-se bem quando ele consegue evitar todas as falhas não planejadas.

Fonte: Kardec & Nascif (2009).

4 CONCEITOS BÁSICOS DE MANUTENÇÃO

“Existem vários conceitos e noções ligadas à Manutenção que devem ser definidas de maneira clara, visando evitar confusões referentes ao uso inadequado de termos definidos de maneira pouca clara” (Nepomuceno, 1989, p.55).

Novas concepções foram estudadas e aprimoradas, dentre eles temos a confiabilidade, manutenibilidade e a disponibilidade. Essas três palavras fazem parte do dia a dia da manutenção e serão mostradas a seguir.

4.1 CONFIABILIDADE

Embora a palavra confiabilidade careça de uma definição, as pessoas a empregam de forma intuitiva. Em contrapartida a ideia não é tão simples e clara de ser definida tal qual parece ser. Os especialistas encontram uma enorme dificuldade quando precisam de uma definição exata do que é a confiabilidade.

De acordo com o Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos – IEEE 90 (1990) confiabilidade “é a capacidade que um sistema ou componente tem de desempenhar as funções exigidas nas condições estabelecidas por um determinado período de tempo”.

Para Kardec & Nascif (2009) a confiabilidade pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$R(t) = e^{-\lambda t}. \quad (1)$$

Sendo:

$R(t)$ = probabilidade do item executar a missão a que lhe foi confiada de maneira plenamente satisfatória a qualquer tempo t ;

e = base dos logaritmos neperianos ($e = 2,718$);

λ = taxa de falhas que o item apresenta durante o período (número total de falhas por período de operação);

t = tempo previsto de operação;

Nepomuceno (1989) afirma que a equação acima é a base sobre a qual se apoia toda metodologia da análise de confiabilidade.

Por sua vez, a taxa de falhas (λ) é representada pela equação a seguir:

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas}}{\text{número de horas de operação}} \quad (2)$$

Como supracitado, para que um equipamento ou máquina tenha um alto grau de confiabilidade se faz necessário analisarmos as falhas. Temos que, falha é qualquer deficiência em um determinado dispositivo que precisa de uma intervenção corretiva. Na confiabilidade, as falhas podem ser classificadas como identificáveis e não-identificáveis.

Segundo Nepomuceno (1989, p. 61):

Falha Identificável – é aquele que pode ser atribuída a um erro ou defeito de projeto ou de fabricação.

Falha não-identificável – é aquela devida a erros do operador, manuseio inadequado ou manutenção insatisfatório.

Do ponto de vista da confiabilidade, as falhas que são levadas em consideração são as identificáveis, pois as outros estão fora do domínio do projetista ou da fábrica.

4.2 MANUTENABILIDADE OU MANTENABILIDADE

De acordo com Nepomuceno (1989), a manutenção passou a ser estudada com austeridade depois que acabou a Segunda Guerra Mundial e após a década de 60 passou a ser fortemente influenciada pelo desenvolvimento de tecnologias de ponta.

No início da Revolução Industrial os operadores procuravam manter os equipamentos em execução de qualquer maneira. Com esta prática deu-se início ao que hoje conhecemos por manutenibilidade.

Em 1994, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, pela NBR 5462 definiu o termo manutenibilidade como “capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso

específico, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos”.

Kardec & Nascif (2009) definem manutenibilidade pela expressão a seguir:

$$M(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Onde:

$M(t)$ = a função manutenibilidade, que representa a probabilidade de que o reparo comece em $t = 0$ e esteja concluído, satisfatoriamente, em t (probabilidade da duração do reparo);

e = base dos logaritmos neperianos ($e = 2,718$);

μ = taxa ou número de reparos efetuados em relação ao total de horas de reparo do equipamento;

t = tempo previsto de reparo;

Para se calcular a confiabilidade é necessário o cálculo prévio da taxa de falhas, analogamente acontece com a manutenibilidade, é necessário saber previamente a taxa de reparos (μ). Podemos expressar a taxa de reparos da seguinte maneira:

$$\mu = \frac{\text{número de reparos efetuados}}{\text{tempo total do reparo da unidade}}. \quad (4)$$

A análise dos aspectos da manutenibilidade de um equipamento, sistema ou instalação é feita de maneira mais adequada quando ainda se está na fase de projeto. As características de tais projetos impactam diretamente a manutenibilidade. Esse conceito de manutenção é considerado um vetor para redução de custos (Kardec & Nascif, 2009).

4.3 DISPONIBILIDADE

Nepomuceno (1989) conceitua disponibilidade como uma medida que indica a proporção do tempo total em relação ao tempo que um equipamento realiza suas funções conforme foi projetado.

De maneira mais simples, na NBR 5462/1994 define-se como sendo a “capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado [...]”.

Ainda, a NBR 5462/1994 designa o termo "disponibilidade" como uma medida de desempenho de disponibilidade.

A equação que exprime a disponibilidade de um produto pode ser expressa por (Nepomuceno, 1989):

$$A = \frac{\textit{tempo disponível para utilização}}{\textit{tempo disponível} + \textit{tempo ocioso}} \quad (5)$$

Onde o tempo disponível é aquele que o equipamento, máquina ou produto está apto a executar a função que lhes foram destinadas. Por sua vez, o tempo ocioso é aquele que o equipamento, máquinas ou produto não estão apresentando boas condições de funcionamento devido a uma operação inadequada, assim os dispositivos necessitam que haja intervenção ou manutenção dos mesmos (Nepomuceno, 1989).

5 MOTORES ELÉTRICOS

Um motor elétrico é uma máquina destinada a converter energia elétrica em energia mecânica. O processo de conversão de energia em motores elétricos envolve a presença do enrolamento de campo e enrolamento de armadura. Pode-se classificar os motores nos seguintes tipos: motores alimentados por uma fonte CC (corrente contínua) e motores alimentados por uma fonte CA (corrente alternada).

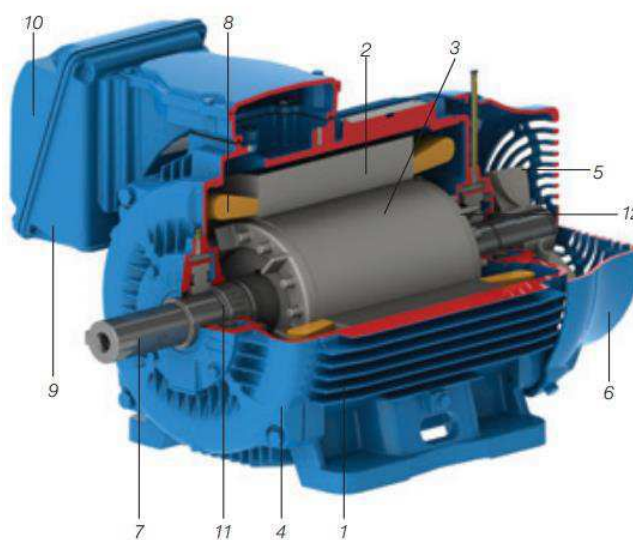
De acordo com a WEG (2016) o motor mais utilizado é o de corrente alternada, haja vista que a distribuição de energia elétrica é feita normalmente por meio de corrente alternada. Os principais tipos de motor de CA são:

Motores síncronos: Devido ao seu alto custo em tamanhos menores, é utilizado em grandes potências. Funciona com velocidade fixa (WEG, 2016).

Motores de indução: É uma máquina com excitação única capaz de produzir torque a qualquer velocidade abaixo da velocidade síncrona (Del Toro, 2011).

Na Figura 7 é apresentada a composição de um motor elétrico de indução trifásico.

Figura 7: Componentes de um motor elétrico de indução trifásico.



Fonte: WEG (2016).

- Carcaça (1);
- Núcleo de chapas (2);
- Núcleo de chapas (3);
- Ventilador (5);
- Tampa (4);
- Eixo (7);
- Enrolamento trifásico (8);
- Caixa de ligação (9);
- Terminais (10);
- Rolamentos (11); e

- Tampa defletora (6);
- Barras e anéis de curto-circuito (12).

O estator e o rotor são duas partes fundamentais que compõem o motor de indução trifásico (WEG, 2016):

- **Estator:** Num motor de indução trifásico, o enrolamento de armadura aloja-se na parte estacionária, chamada estator (Fitzgerald; Kingsley & Umans, 2008). O estator é formado por:
 - ✓ Carcaça - é a estrutura suporte do conjunto de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e normalmente com aletas (WEG, 2016).
 - ✓ Núcleo de chapas - as chapas são de aço magnético, tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas ativas (WEG, 2002).
 - ✓ Enrolamento trifásico - três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico ligado à rede trifásica de alimentação.
- **Rotor:** Parte girante da máquina, montada sobre o eixo central envolto do estator. O campo produzido no estator faz com que sejam induzidas correntes no rotor (Fitzgerald; Kingsley & Umans, 2008). O rotor é formado por:
 - ✓ Eixo - transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor. É tratado termicamente para evitar problemas como empenamento e fadiga (WEG, 2016).
 - ✓ Núcleo de chapas - as chapas são de aço magnético, tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas ativas (WEG, 2002).
 - ✓ Barras e anéis de curto-circuito - são de alumínio injetado sob pressão numa única peça (WEG, 2016).

Na Figura 8 é apresentada os componentes de um motor de indução monofásico.

Figura 8: Componentes de um motor elétrico de indução monofásico.



Fonte: WEG (2016).

“Os motores elétricos de indução monofásico possuem um único enrolamento no estator. Esse enrolamento gera um campo magnético que se altera juntamente com as alternâncias da corrente. Neste caso, o movimento provocado não é rotativo” (Senai, 2004, p.31).

O estator de um motor monofásico de fase auxiliar é constituído por dois enrolamentos: enrolamento principal (enrolamento com fio mais grosso e com muitas espiras) e o enrolamento auxiliar (enrolamento com fio mais finos e com poucas espiras) (Senai, 2004).

De acordo com Vaz (2010), o rotor de um motor elétrico de indução é basicamente igual ao rotor de gaiola de um motor elétrico de indução trifásico.

5.1 MANUTENÇÃO EM MOTORES ELÉTRICOS

Segundo a WEG (2002, p. F-5),

A manutenção de motores elétricos é feita da seguinte forma resumem-se numa inspeção periódica quanto a níveis de isolamento, elevação de temperatura, desgastes excessivos, correta lubrificação dos rolamentos e eventuais exames no ventilador, para verificar o correto fluxo de ar. A frequência com que devem ser feitas inspeções depende do tipo de motor e das condições do local de aplicação do motor.

Como já mencionado, o real sentido da atividade de manutenção não é apenas a reconstituição dos equipamentos as condições originais de operação após a falha ter ocorrido, mas o papel desta atividade vai além. Realizar alguma manutenção não significa está substituindo peças ou fazendo arranjos à medida que as falhas vão acontecendo. Pelo contrário, Xenos (2004) afirma que uma manutenção é dita eficiente, se seu trabalho é de evitar falhas e de introdução de melhorias em equipamentos. Com essas melhorias visando a prevenção têm-se contramedidas de bloqueio para as causas elementares das falhas.

Pode ser executado os seguintes tipos de manutenção:

- **Corretiva:** Antes de tomar qualquer medida de manutenção, espera-se a falha acontecer.
- **Preventiva:** O problema (defeito) é identificado antes da falha.
- **Preditiva:** Acompanhamento das máquinas por meio de monitoramentos e medição.

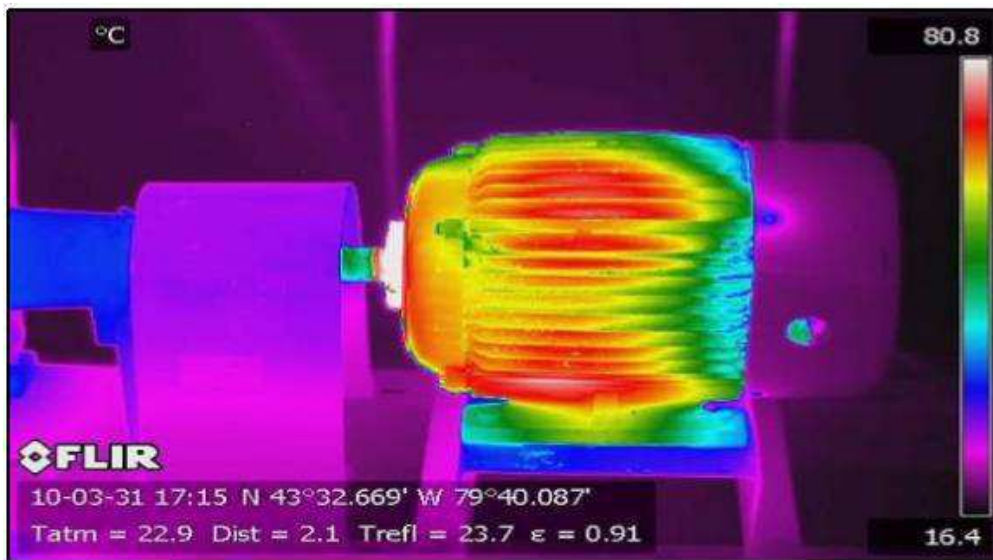
A medida que for identificado alguma anormalidade no equipamento faz-se necessário a intervenção imediata para que a situação não se alastre ocasionando mais danos.

Existem alguns tipos de técnicas preditivas usadas para detecção de falhas, uma delas é a termografia. Por meio dessa técnica é possível detectar pontos ou regiões que suas temperaturas estejam diferentes das preestabelecidas.

Gomes (2016) aponta, “a termografia constitui uma poderosa ferramenta preditiva usada no diagnóstico precoce de falhas e outros problemas em componentes elétricos em geral, evitando assim, panes e interrupções de energia nas instalações de interesse do usuário”.

A utilização mais conhecida da termografia é a referente aos sistemas elétricos, na qual os equipamentos que fazem as leituras de temperatura são o radiômetro e o termovisor. Na Figura 8 é apresentada a imagem termográfica da carcaça de um motor elétrico.

Figura 9: Termograma



Fonte: Gomes (2016).

Em quaisquer que sejam as instalações elétricas o monitoramento de corrente e tensão é uma metodologia básica. Eventuais variações de cargas operacionais são indicadas pelo acompanhamento da corrente.

Por sua vez, o dimensionamento correto dos condutores também é importante para o bom funcionamento desta máquina elétrica. Pois, é por meio desse dimensionamento que se preestabelece a capacidade dos motores bem como as condições necessárias para não haver o aquecimento desnecessário.

Niskier e Macintyre (2000, p.103) afirmam que o dimensionamento do condutor é capaz de:

Permitir, sem excessivo aquecimento e com uma queda de tensão predeterminada, a passagem da corrente elétrica. Além disso, os condutores devem ser compatíveis com a capacidade dos dispositivos de proteção contra sobrecarga e curto-circuito.

De acordo com Araújo & Santos (2012), para se fixar um motor é preciso que se tenha certeza de suas características próprias, pois o mesmo não deve ser fixado numa inclinação qualquer de seu eixo. Os autores ainda complementam:

Vibrações anormais causam uma redução no rendimento do motor: elas podem ser consequência de uma falha no alinhamento, de uma fixação insuficiente ou

defeituosa do motor em sua base, de folgas excessivas dos mancais, ou ainda de um balanceamento inadequado nas partes giratórias.

5.1.1 LIMPEZA

Efetuar a limpeza periodicamente é uma atitude simples, porém de relevante importância. Levando em consideração que é preciso a troca de calor com o meio ambiente, caso não haja uma devida limpeza, a sujeira acumular-se-á na carcaça e/ou nos enrolamentos impedindo que haja essa troca. Outrossim, a sujeira pode provocar curto-circuito à medida que retém umidade.

Segundo a WEG (2002), a utilização de escovas ou panos limpos de algodão, são essenciais para limpar os motores. Apenas utilizar-se-á jateamento de ar comprimido se a sujeira não for muito abrasiva. Com esse jateamento a poeira será soprada da tampa defletora, das aletas de refrigeração e das pás do ventilador.

5.1.2 LUBRIFICAÇÃO

Nem todos os motores possuem o pino graxeira. Motores com a carcaça até 160 não possuem graxeira, já com a carcaça de 160 até 200, este pino é opcional. Só encontrará a graxeira em motores com a carcaça acima de 225 a 335. O sistema de mancais tem que ter uma vida útil prolongada ao máximo, por isso que se deve ter a manutenção (WEG, 2002).

A manutenção abrange (WEG, 2002):

1. Observação do estado geral em que se encontram os mancais;
2. Lubrificação e limpeza; e
3. Exame minucioso dos rolamentos.

O mancal deverá ser lubrificado com graxas apropriadas. A manutenção em um mancal também se dá por meio da inspeção da temperatura. Araújo & Santos (2012) defendem que a vida útil de um rolamento de esferas em funcionamento contínuo pode chegar 4 anos ou mais, isso para uma temperatura de 40°C. Entretanto, se houver aumento da temperatura de trabalho em 10°C a vida útil é reduzida, em média, 50%.

O controle dessa temperatura poderá ser feito com termômetros permanentes, que podem ser colocados fora do mancal ou embutidos. Para fazer a lubrificação nos rolamentos dos motores, normalmente, utiliza-se graxa.

Quando se faz a correta lubrificação dos rolamentos, evita que haja um aumento da temperatura nos mesmos, além de permitir uma melhoria de rendimento. Pois, evita o contato mecânico dos corpos rolantes, protegendo-os de corrosão e desgastes. (Araújo & Silva, 2012; WEG, 2002).

Figura 10: Detalhe do Rolamento



Fonte: WEG (2017).

5.1.3 INTERVALOS DE LUBRIFICAÇÃO

A WEG (2002, p. F-5) defende que: “A quantidade de graxa correta é sem dúvida, um aspecto importante para uma boa lubrificação. A lubrificação deve ser feita conforme os intervalos de lubrificação especificados na placa de identificação”. Havendo um excesso de lubrificação, a temperatura se eleva e assim há perda de suas características originais.

Caso não se tenha acesso a informações como manual de instruções do motor e tabela de lubrificação, a graxa deverá preencher o espaço vazio do rolamento até a sua metade (apenas o espaço vazio dos corpos girantes). Para que a lubrificação seja exequível de maneira eficiente, recomenda-se o máximo de cuidado e limpeza, com o objetivo de evitar qualquer penetração de sujeira que possa causar danos no rolamento (WEG, 2002).

5.1.4 INSTRUÇÕES PARA LUBRIFICAÇÃO

AWEG (2002, p. F-8) recomenda:

Injeta-se aproximadamente metade da quantidade total estimada da graxa e coloca-se o motor a girar durante aproximadamente 1 minuto a plena rotação, em seguida desliga-se o motor e coloca-se o restante da graxa. A injeção de toda a graxa com o motor parado pode levar a penetração de parte do lubrificante no interior do motor. É importante manter as graxas limpas antes da introdução da graxa a fim de evitar a entrada de materiais estranhos no rolamento. Para lubrificação use exclusivamente pistola engraxadeira manual.

No Quadro 2 é mostrado as etapas de lubrificação, conforme recomendações da WEG.

Quadro 2: Etapas de Lubrificação

Etapas	1. Limpar com pano de algodão as proximidades do orifício da graxeira.
	2. Com o motor em funcionamento, adicionar a graxa por meio de uma pistola engraxadeira até ter sido introduzida a quantidade de graxa recomendada
	3. Deixar o motor funcionando durante o tempo suficiente para que se escoe todo o excesso de graxa.

Fonte: WEG (2002).

6 FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS

6.1 DEFINIÇÃO

É fato indiscutível que devido ao uso, toda e qualquer máquina e/ou equipamento apresente uma certa degradação. Tal proposição implica na susceptibilidade do maquinário a falhas.

Siqueira (2012, p. 51) define falha como sendo “a interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada”.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 5462, 1994) define falha como sendo o “término da capacidade de um item desempenhar a função requerida.”

Do ponto de vista de Moubray (2000, p. 46) e não muito diferente das definições supracitadas, ele conceitua da seguinte maneira, “falha é definida como a incapacidade de qualquer ativo de fazer o que seu usuário quer que ele faça.”

Dado que a aptidão de um determinado sistema termina, não exercendo mais a função a qual lhe foi conferido, temos o que chamamos de falha. Dependendo do hábito do operador essas falhas podem receber outras denominações, tais como ruptura, pane, quebra ou enguiço (Nepomuceno, 1989).

Em linhas gerais as falhas podem ser de três tipos (Nepomuceno, 1989):

1. Imposição do operador, que retira o equipamento do serviço de maneira deliberada, apesar do mesmo estar cumprindo satisfatoriamente as funções que lhe competem;
2. Falha de desempenho, ligadas a uma diminuição da eficiência do equipamento;
3. Falhas catastróficas, que dão origem ao término abrupto da aptidão de um sistema qualquer de cumprir suas funções.

Existem diversas definições e conceitos apresentados para falhas, mas nada difere do enfoque nos aspectos de um mal funcionamento do equipamento. No que diz respeito à manutenção, prevenir e corrigir as falhas é seu objetivo principal.

Fuentes (2006, p. 25) destaca que: “As ações de manutenção são usadas para controlar as falhas e restabelecer o equipamento em falha a seu estado operacional, de preferência, “tão bom quanto novo”.

Assim como Fuentes (2006), Kardec & Nascif (2009) apontam que a manutenção é a garantia dos itens físicos estarem em perfeito funcionamento.

Nepomuceno (1989, p. 106) afirma o seguinte:

Como existem equipamentos, instrumentos, sistemas, conjuntos e instalações das mais variadas modalidades e tipos, o conceito de falha, ruptura, defeito ou outra denominação qualquer depende do enfoque que é dado, uma vez que o efeito do evento na perda de desempenho do dispositivo como falha na aptidão funcional da instalação de maneira global, pode se apresentar de inúmeras maneiras.

6.2 ANÁLISE DE CAUSAS E FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS

Algumas possíveis causas atreladas a alguns defeitos apresentados em motores elétricos são mostradas no Quadro 3.

Quadro 3: Defeito e Possíveis Causas

Defeito	Causas
MOTOR NÃO CONSEGUE PARTIR	<ul style="list-style-type: none"> - Graxa em demasia; - Excessivo esforço axial ou radial da correia; - Eixo torto; - Conexão errada; - Numeração dos cabos trocada; - Carga excessiva; - Platinado aberto; - Capacitor danificado; e - Bobina auxiliar interrompida.
BAIXO TORQUE DE PARTIDA	<ul style="list-style-type: none"> - Ligação interna errada; - Rotor falhado ou descentralizado; - Tensão abaixo do normal; - Frequência abaixo ou acima da nominal; e - Capacitância abaixo da especificada;

Defeito	Causas
CORRENTE ALTA A VAZIO	<ul style="list-style-type: none"> - Entreferro acima do especificado; - Tensão acima do especificado; - Frequência abaixo do especificado; - Ligação interna errada; - Rotor descentralizado ou arrastando; - Rolamentos com defeito; - Tampas com muita pressão; - Tampas mal encaixadas; - Chapas magnéticas sem tratamento; - Capacitor permanente fora do especificado; - Platinado/centrífugo não abrem.
CORRENTE ALTA EM CARGA	<ul style="list-style-type: none"> - Tensão fora da nominal; - Sobrecarga; - Frequência fora da nominal; - Correias muito esticadas; e - Rotor arrastando no estator.
RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO BAIXA	<ul style="list-style-type: none"> - Isolantes de ranhura danificados; - Cabinhos cortados; - Cabeça de bobina encostando na carcaça; - Presença de umidade ou agentes químicos; e - Presença de pó sobre o bobinado.
AQUECIMENTO DOS MANCAIS	<ul style="list-style-type: none"> - Excessivo esforço axial ou radial da correia; - Eixo torto; - Tampas frouxas ou descentralizadas; - Falta ou excesso de graxa; e - Matéria estranha na graxa.
SOBREAQUECIMENTO DO MOTOR	<ul style="list-style-type: none"> - Ventilação obstruída - Ventilador subdimensionado; - Rotor arrastando ou falhado; - Sobrecarga; - Tensão ou frequência fora do especificado;

Defeito	Causa
<p style="text-align: center;">SOBREAQUECIMENTO DO MOTOR</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Rolamento com defeito; - Partidas consecutivas; - Entreferro abaixo do especificado; e - Ligações erradas.
<p style="text-align: center;">ALTO NÍVEL DE RUÍDO</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desbalanceamento; - Eixo torto; - Alinhamento incorreto; - Rotor fora de centro; - Ligações erradas; - Corpos estranhos no entreferro; - Objetos presos entre o ventilador e a tampa defletora; - Rolamentos gastos; e - Combinação de ranhuras inadequadas.
<p style="text-align: center;">VIBRAÇÃO EXCESSIVA</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Rotor fora de centro, falhado, arrastando ou desbalanceado; - Desbalanceamento na tensão da rede; - Rolamentos desalinhados, gastos ou sem graxa; - Ligações erradas; - Mancais com folga; - Eixo torto; e - Folga nas chapas do estator.

Fonte: WEG (2002).

O termo falha pode ser entendido como uma redução, seja total ou parcial, da capacidade de desempenho do motor ou algum de seus componentes no atendimento da função para a qual foi designado.

De acordo com Bonnett & Soukup (1992) existem dois tipos de falhas são elas mecânicas e elétricas. Uma falha é caracterizada como mecânica se a situação envolver defeitos em mancais, rolamento e quando se está desalinhado. Por outro lado, pode-se caracterizar uma falha como elétrica se ocorrer defeitos nas conexões, enrolamentos de estator/rotor e anéis.

Nas Figuras 10,11 e 12 serão mostradas algumas falhas nos enrolamentos que simbolizam o que pode acontecer em tais circunstâncias.

1. Curto circuito entre fases.

Figura 11: Curto circuito entre fases.

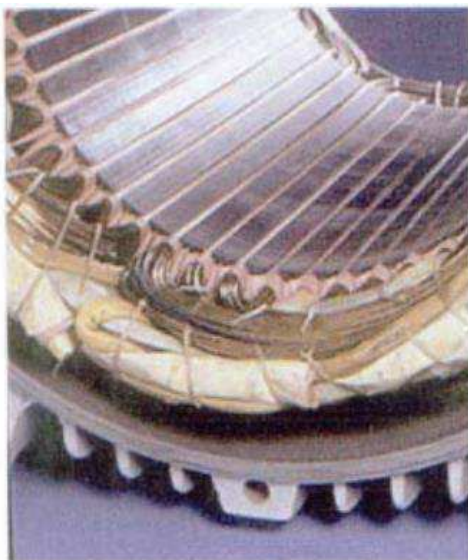


Fonte: Araújo & Santos (2012).

Este tipo de defeito no isolamento, mostrado na Figura 10, é causado por contaminação ou oscilação de tensão. Pode também ser o emprego inadequado do material de isolamento que não atendia as especificações exigidas, por exemplo, classe térmica e tensão do equipamento.

2. Curto entre espiras

Figura 12: Curto circuito entre espiras.



Fonte: Araújo & Santos (2012).

Este tipo de defeito no isolamento, mostrado na Figura 11, é causado por contaminação ou oscilação de tensão.

3. Enrolamento danificado por sobrecarga

Figura 13: Enrolamento danificado por sobrecarga



Fonte: Araújo & Santos (2012).

A queima total da isolação, mostrada na Figura 12, em todas as fases do enrolamento do estator origina-se de uma sobrecarga, ou seja, exigência de carga superior à capacidade nominal do motor. Este tipo de falha também pode ser ocasionado por subtensão ou sobretensão.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho de conclusão de curso foi feita uma revisão da literatura sobre Manutenção Industrial com o intuito de alguns conceitos serem aplicados em máquinas elétricas, mais especificamente em motores elétricos. Ainda, foi descrito alguns tipos de manutenção evidenciando as características de cada um.

Em quaisquer que sejam as indústrias, sempre haverá um leque de possibilidades de escolha para melhor utilização do maquinário. Desta maneira, alguns fatores deverão ser levados em consideração e de forma individual serão analisados com o objetivo de determinar a mais assertiva forma de manutenção a ser utilizada em um determinado motor elétrico.

Vale salientar que, o melhor tipo depende também das falhas recorrentes no sistema bem como os custos advindos da manutenção. Posto isto, é indispensável realizar uma verificação de forma pontual em cada máquina elétrica e optar pelo que é mais profícuo, se é esperar a falha ou se precaver.

Embora as unidades industriais conheçam as variadas características da manutenção, a maioria possui um setor desta atividade que ainda opera de maneira não planejada, ou seja, o reparo/conserto dá-se após a ocorrência da falha ou indisponibilidade do motor. Contudo, são poucas as unidades que faz uso das técnicas de manutenção preventiva em conjunto com os métodos preditivos.

Um aspecto importante estudado foi como fazer a manutenção em motores elétricos. Na qual foi visto que é de extrema relevância que se tenha um plano de inspeção periódico, para garantir que as condições das funções operacionais dos motores estejam satisfazendo o desejado. Assim, assegurará que a operacionalidade dos motores está conforme foi projetado.

Convém ressaltar que atitudes simples como a limpeza, por exemplo, podem livrar os motores de danos maiores. Se porventura a máquina elétrica vier a falhar, faz-se necessário que a desligue e comece a fazer todas as análises, sejam elas mecânicas ou elétricas.

Para facilitar a manutenção de tais máquinas o conhecimento de alguns defeitos e possíveis causas são indispensáveis, pois possibilita que a evolução das falhas seja evitada.

Por fim, foram alcançados os objetivos traçados para este trabalho e, mesmo que não haja um único caminho para obtenção da plena qualidade na manutenção, existem definições, técnicas e práticas diversas que validam seu uso. Vale lembrar que “mais manutenção não significa melhor manutenção” (Kardec & Nascif, 2009, p. 69).

REFERÊNCIAS

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção. **Documento nacional 2013: A situação da manutenção no Brasil**. São Paulo. Abramam, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Mantenabilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

ARAÚJO, Igor; SANTOS, Crisluce Karina. **Manutenção Elétrica Industrial**. Projeto Apostila Virtual, 2012.

BECHTOLD, Maurício José. **SENAI – Manutenção Mecânica**. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/VerasReisReis/senaisc-sao-bentodosul2011020416255408manumec>>. Acesso em: 14 Ago. 2017.

BONNETT, A.; SOUKUP, G. Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors. **Industry Applications, IEEE Transactions on**, v. 28, n. 4, p. 921–937, Jul 1992.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999. 8 ed.

COSTA, M. de Almeida. **Gestão Estratégica da Manutenção: Uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013.

DEL TORO, V. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

Dicionário do Aurélio. **Significado de Manutenção**. Disponível em: <<https://dicionariodoaurelio.com/manutencao>>. Acesso em: 02 Jul. 2017.

FITZGERALD, A.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. **Máquinas Elétricas**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FUENTES, Fernando F. E. **Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial**. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

GOMES, Sinésio Raimundo. **Manutenção Industrial - Aula 16 - Diagnósticos de Manutenção com uso de Termografia**. Disponível em: <<http://manutencaodesistemasindustriais.blogspot.com.br/2016/>>. Acesso em: 29 Set. 2017.

IEEE 90 – Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Standard Computer Dictionary: **A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries**. New York, NY: 1990.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LOBOS, Júlio. **Qualidade através das pessoas**. São Paulo, J.Lobos,1991.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. (ReliabilityCentered Maintenance – RCM). Trad. Kleber Siqueira. São Paulo: Aladon, 2000.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: Egard Blücher, 1989. 1 v.

NISKIER, Julio; MACINTYRE, Archibald Joseph. **Instalações Elétricas**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

SENAI. **Máquinas Elétricas**. Itabira, 2004.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012.

TROMBETA, Alessandro. **A quarta geração da manutenção**. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/quarta-gera%C3%A7%C3%A3o-da-manuten%C3%A7%C3%A3o-me-alessandro-trombeta-mba>>. Acesso em: 20 Jun. 2017.

VAZ, F. S. de Oliveira. **SENAI – Máquinas Elétricas**. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/19694129/maquinas-eletricas-senai>>. Acesso em: 06 Out. 2017.

WEG. **Catálogo Geral de Motores**. São Paulo, 2002.

WEG. **Motores Elétricos: Guia de Especificação**. Jaraguá do Sul, 2016.

WEG. **Motor Monofásico**. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motor-monofasico-explodido-50009252-guia-rapido-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 06 Out. 2017.

WEG. **Motor Elétrico Trifásico**. Jaraguá do Sul, 2017.

XENOS, Harilaus Georgius d'Philippos. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.