MANUTENÇÃO PREDITIVA E SUAS VANTAGENS: estudo de caso em 10 motores de indução trifásico de corrente alternada na empresa Tese Comercial Elétrica Ltda

PREDICTIVE MAINTENANCE AND ITS ADVANTAGES: case study in 10 alternating current three-phase induction motors in the company Thesis Comercial Elétrica Ltda

Luis Eduardo Munhoz[I]
Heriton Martins Garcia Filho [II]
Maria Aparecida Bovério[III]
Dejaime Pereira da Silva[IV]

RESUMO

A indústria, de forma geral, tem passado por grandes transformações devido a globalização e, com o mercado cada vez mais competitivo, cabe minimizar o máximo de desperdícios na cadeia produtiva, isto é, obter eficiência no sistema produtivo, produzindo assim, mais com o menor custo possível. Para alcançar esse objetivo é necessária a interação entre a direção, produção e manutenção, sendo esse último setor um dos principais. Ter o controle do ativo e saber a real condição de desgaste é responsabilidade da manutenção, que fornecerá parâmetros para a direção e produção se programar, visando, assim, o planejamento da produção desejada. O presente artigo tem a finalidade de apresentar quais são as vantagens em utilizar as técnicas de manutenção que sejam proativas, visando vantagens em relação a aplicação de técnicas corretivas e, por consequência, a economia financeira e a maior disponibilidade do ativo. Assim, como metodologia, foi realizado um estudo de caso na empresa Tese Comercial Elétrica Ltda, cujo objetivo foi o de diagnosticar o que ocasiona as falhas dos motores de indução trifásico. Para isso, utilizou-se a análise de ordem de serviço e a ferramenta da qualidade Diagrama de Ishikawa. Os resultados indicam que se houvesse dispositivos de proteção adicionais e/ou um planejamento efetivo de manutenção, contemplando técnicas preditivas, a probabilidade de a falha ocorrer seria mínima. Concluiu-se que a solução proposta é atrativa, de baixa complexidade e de fácil adaptação.

Palavras-chave: Manutenção preditiva. Manutenção proativa. Motor de indução trifásico. Ordem de serviço. Diagrama de Ishikawa.

[I] Aluno do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: eduardostz@gmail.com
[II] Aluno do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: heritinho77@gmail.com
[III] Pós-Doutorado em Educação (UNESP-Rio Claro), Doutorado, Mestrado e Especialização em Educação (UNESP-Araraquara), Bacharel em Letras (Centro Universitário Moura Lacerda-Ribeirão Preto). Docente e pesquisadora da Faculdade de Tecnologia (Fatec) - Câmpus de Sertãozinho e Jaboticabal. Membro do Grupo de Estudos e Pesquisas em Políticas e Gestão da Educação Superior (GEPES) do Departamento de Educação da UNESP, Câmpus de Rio Claro, vinculado ao CNPq. E-mail: maria.boverio@fatec.sp.gov.br
[IV] Engenheiro Eletricista pela Universidade de Araraquara (UNIARA), Master in Business Administration (MBA) - Gestão Empresarial pela Faculdade de Monte Alto-SP, Engenheiro de Manutenção - Maintenance Engineer na HUTCHINSON Brasil Automotive Ltda (HBA), Departamento Manutenção - Industry II - Maintenance Department. E-mail: dejaimesilva@gmail.com

ABSTRACT

The industry, in general, has undergone major transformations due to globalization and, with the increasingly competitive market, it is necessary to minimize as much waste in the production chain, that is, to obtain efficiency in the production system, thus producing more at the lowest possible cost. To achieve this goal, the interaction between management, production, and maintenance is necessary, and this last sector is one of the main ones. Maintenance is responsible for controlling the asset and knowing its real wear condition, which will provide parameters for the management and production to program themselves, thus aiming at planning the desired production. This article aims to present the advantages of using proactive maintenance techniques, seeking advantages over the application of corrective techniques and, consequently, financial savings and a greater availability of the asset. Thus, as a methodology, a case study was conducted in the company Tese Comercial Elétrica Ltda, whose objective was to diagnose what causes the failures of three-phase induction motors. For this, the work order analysis and the quality tool Ishikawa Diagram were used. The results indicate that if there were additional protection devices and/or an effective maintenance planning, contemplating predictive techniques, the probability of failure would be minimal. It was concluded that the proposed solution is attractive, of low complexity, and easy to adapt.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

Keywords: Predictive maintenance. Proactive maintenance. Three-phase induction motor. Work order. Ishikawa diagram.

Data de submissão do artigo: 19/05/2021.
Data de aprovação do artigo: 17/06/2021.
DOI: 10.33635/sitefa.v4i1.152

1 INTRODUÇÃO

O departamento de manutenção segundo Verri (2007, p.3), tem por objetivo principal manter a máxima continuidade operacional ao menor custo, pois é a área responsável por manter as condições de funcionamento dos equipamentos conforme os requisitos de cada projeto.

Nesse sentido, acompanhar frequentemente o funcionamento de máquinas, equipamentos e peças é um método muito eficaz para prevenir possíveis interrupções nas linhas de produção. Por isso, as empresas têm de dar atenção especial para as manutenções. Assim, a ideia é economizar e reduzir custos, para que a empresa gaste apenas com bons investimentos e não em erros que podem ser previstos (RODRIGUES, 2018).

Segundo Viana (2002, p. 9) muitos autores abordam os vários tipos de manutenção possíveis e explica que entre elas estão a manutenção corretiva, a manutenção preventiva, a manutenção preditiva e a manutenção autônoma.

Dessa maneira, é possível notar como a gestão da manutenção é importante e, para que ela aconteça de forma eficaz, é necessário entender a diferença entre os tipos de manutenção existentes (RODRIGUES, 2018).

Nesse contexto, o tema-problema investigado nessa pesquisa foi: “quais são as possíveis causas das falhas dos motores de indução trifásico?”

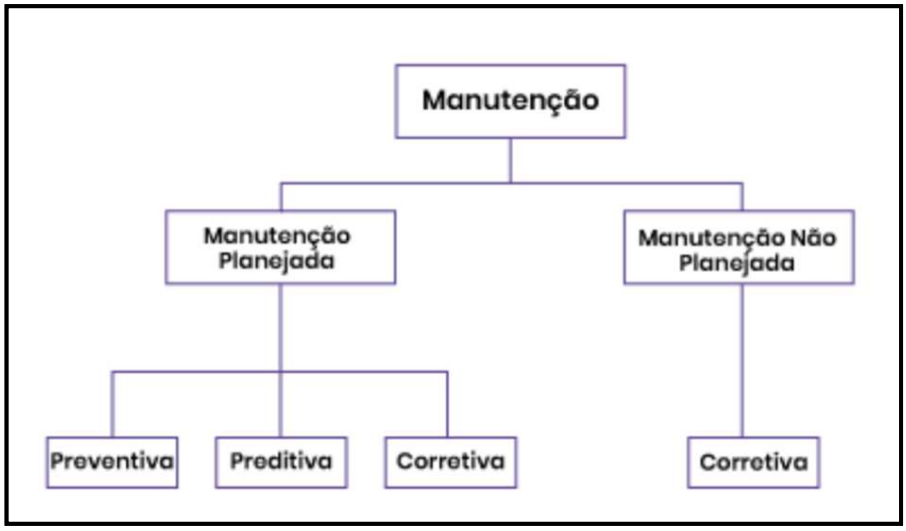
O estudo de caso foi realizado na empresa Tese Comercial Elétrica Ltda, cuja análise foi feita a partir da ordem de serviço. O objetivo foi diagnosticar a causa que contribuiu para que houvesse a falha dos motores de indução trifásico. Para isso, foi utilizada a ferramenta da qualidade Diagrama de Ishikawa.

A motivação para o estudo de caso ocorreu devido a percepção dos extensos danos em motores elétricos trifásicos de indução, de médio e grande portes. Esse tipo de ocorrência faz aumentar o custo da produção e torna o produto menos competitivo.

2 MANUTENÇÃO

A manutenção dos equipamentos industriais é muito importante. Existem vários tipos de manutenção que devem ser realizadas pelas empresas, assim como ferramentas de qualidade que podem ser utilizadas. O fluxograma 1 apresenta os tipos de manutenção existentes.

Fluxograma 1 – tipos de manutenção



Fonte: Rodrigues (2018)

Nessa seção serão abordados os tipos de manutenção e a ferramenta utilizada nesse estudo de caso, denominada de Diagrama de Ishikawa.

2.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva serve para corrigir uma falha. Ela acontece quando o equipamento já está com alguma peça irregular, apresenta mal funcionamento e, por isso, precisa ser substituída, ou, ainda, quando é detectada alguma falha que possa levar a algum problema maior no futuro (RODRIGUES, 2018).

Assim, esse tipo de manutenção ocorre quando o ativo para de desempenhar sua função, ou o equipamento começa a perder rendimento e, na mais extrema situação, ocorre quando o equipamento pode colocar em risco a segurança do operador ou do meio ambiente. Ou seja, sempre que há uma intervenção sem o devido planejamento pode-se identificá-la como corretiva (VIANA, 2002).

Pode-se dividir a manutenção corretiva em dois subtipos ou duas classes: a corretiva planejada e a corretiva não planejada (RODRIGUES, 2018; PINTO; XAVIER, 2012).

2.1.1 Manutenção corretiva não planejada

"A manutenção corretiva não planejada, acontece após a identificação de algum erro ou problema. Esse tipo de manutenção implica em custos altos, em relação a manutenção corretiva planejada." (RODRIGUES, 2018).

A parada inesperada pode causar quebra na produção, interrupção na planta parcial ou mesmo total, perda da qualidade, retrabalho e elevados custos indiretos de manutenção. Pode causar, também, quebras aleatórias que geram graves consequências ao equipamento, isto é, a extensão dos danos. Dependendo do processo da planta industrial envolvida, existe uma dependência da linha de produção e a quebra de um equipamento inicial dessa linha causa diminuição, ou mesmo a paralisação e, geralmente, estão envolvidas em seus processamentos grandes fontes de energia, como, temperatura, pressão, vapor etc. E, interromper de forma abrupta um processo dessa natureza, não só gera perdas, mas, também, compromete a qualidade de outros equipamentos que operavam satisfatoriamente (PINTO; XAVIER, 2012).

2.1.2 Manutenção corretiva planejada

A manutenção corretiva planejada é o acompanhamento de uma máquina com finalidade de corrigir algum erro que poderá aparecer (RODRIGUES, 2018).

Segundo Pinto e Xavier (2012) manutenção corretiva planejada é a correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra.

A palavra planejamento faz parte do cotidiano, usa-se em diversas situações, como em viagens, orçamento familiar, investimentos financeiros dentre outros, mas o que é nítido em todos os casos é que quando há planejamento, é possível se organizar, e não ser pegos de surpresa. Na manutenção corretiva planejada é o mesmo princípio, as informações geradas pelas análises preditivas fornecem relatórios da condição do equipamento e a estimativa da quebra, o gestor industrial de posse dessas informações pode decidir ou não, de intervir no maquinário com perda de rendimento, e/ou optar por funcionar até a quebra, já que as ações pós quebra estão definidas, ou seja, planejadas, sendo elas, peças sobressalentes em estoque, mantenedor especifico habilitado e capacitado, seja interno ou terceirizado, dispositivos e ferramentas próprias para o reparo, dessa forma os custos envolvidos tornam-se menores que a manutenção corretiva não planejada (PINTO; XAVIER, 2012).

Portanto, "a manutenção corretiva pode ser usada, também, como uma forma eficiente de evitar o retrabalho, afinal, ela diminui o tempo de execução da tarefa e evita quebras de produção inesperadas". (RODRIGUES, 2018).

2.2 Manutenção preventiva

É baseada no intervalo de tempo, seguindo o plano de manutenção estabelecido pelo fabricante do equipamento, nesse tipo de manutenção a ação é tomada em intervalos de tempo pré-definidos, substituindo componentes, subconjuntos e/ou conjuntos, aumentando a confiabilidade do ativo (VIANA, 2002).

Ao contrário da manutenção corretiva, a manutenção preventiva busca obstinadamente evitar a ocorrência da falha. Em setores como a aviação, a manutenção preventiva é indiscutível, pois o fator de segurança sobrepõe aos demais (PINTO; XAVIER, 2012).

2.3 Manutenção preditiva

O termo manutenção preditiva remete a predizer, pois nesse tipo de manutenção o foco está em monitorar a condição real de desgaste das peças e intervir no momento anterior a sua quebra, levando a utilização total do componente, minimizando os custos em relação as manutenções anteriores apresentadas (VIANA, 2002).

Manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificação de parâmetros de condições ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. Ela é a primeira grande quebra de paradigma, pois quanto mais desenvolve o conhecimento tecnológico e os equipamentos de monitoração, melhores serão os resultados e mais confiáveis para tomadas de decisões. A adoção de técnicas preditivas privilegia a disponibilidade, pois as medições e verificações são realizadas com o equipamento em operação, não necessitando a parada do equipamento para inspeções visuais ou mesmo desmontagem para medições (PINTO; XAVIER, 2012).

Verifica-se, assim que "na manutenção preditiva os programas são baseados no estado real do equipamento e na determinação de quando a manutenção deve ser realizada para minimizar os custos" com o uso "de técnicas e equipamentos como ultrassom e câmeras termográficas". (RODRIGUES, 2018).

2.4 Manutenção autônoma

Essa manutenção está propriamente ligada ao conceito do operador cuidar de sua "própria" máquina, aqui o foco é o treinamento e a capacitação do operador, de forma que ele possa realizar pequenas intervenções, sem a necessidade do técnico responsável. Quando o problema for de maior complexidade é solicitado o mantenedor específico (VIANA, 2002).

"Na manutenção autônoma vale a máxima "da minha máquina cuido eu", que é adotada pelos operadores que passam a executar serviços de manutenção no maquinário que operam." (VIANA, 2002, p.16).

Nesse conceito utiliza-se a sensibilidade do operador em conhecer o equipamento que opera, nos pequenos detalhes que ocorrem durante a produção.

O setor de manutenção tem se mostrado peça fundamental e estratégica em meio ao mercado globalizado e competitivo. Assim, manter a disponibilidade dos equipamentos é a função do setor, para contribuir com o objetivo da empresa, que é a produção (MONCHY, 1987, p.5 *apud* FREITAS, 2016, p.15).

2.5 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa é uma ferramenta visual que foi desenvolvida por Kaoru Ishikawa, considerado um dos gurus da qualidade. Sua função é auxiliar as organizações a investigar as principais causas e efeitos de um problema. Também é conhecido, segundo Andrade (2017), como:

- Diagrama espinha de peixe.
- Diagrama de Ishikawa.

- Árvore de causas espinha de peixe.
- Diagrama dos 6Ms.

O objetivo de Ishikawa é a criação de uma ferramenta de fácil utilização a ser utilizada desde o chão de fábrica até a diretoria. Para sua utilização parte-se da premissa de que todo problema tem uma causa raiz e, dessa forma, eliminando-se a causa raiz elimina-se o problema.

Para a construção do diagrama de Ishikawa, deve-se definir o problema a ser analisado e, após a definição, ele é colocado em evidência em frente a seta principal "cabeça do peixe". Ishikawa define que são seis as principais prováveis causas do problema que se busca solucionar: método, máquina, medida, meio ambiente, material e mão de obra (ANDRADE, 2017).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: avaliação dos motores

Foi realizado um estudo de caso que, de acordo com Prodanov e Freitas (2013) é um método de pesquisa que utiliza dados coletados a partir de eventos reais, com o objetivo de explicar, explorar ou descrever fenômenos atuais inseridos em seu próprio contexto. O estudo de caso foi realizado na empresa Tese Comercial Elétrica Ltda, onde foram coletadas informações com o responsável pelo setor de manutenção, referentes aos procedimentos adotados para avaliação e preenchimento das ordens de serviços.

Por meio das ordens de serviço, foram analisados vários pontos, dos quais pode-se citar: locais onde cada etapa é realizada, procedimentos adotados, ferramentas utilizadas, entre outros, com a finalidade de entender como são captadas as informações dos componentes que falharam, que posteriormente são enviados ao cliente, por meio do orçamento e do laudo.

3.1 Equipamentos: análise das ordens de serviços e defeitos apresentados nos componentes

Nessa fase da pesquisa, foi realizado um levantamento nas ordens de serviços dos motores elétricos, com potência de 200 CV a 550 CV, com o funcionário responsável pelo setor de manutenção, para identificar os modelos e suas especificações e informações relevantes. A identificação dos 10 motores é apresentada no quadro 1.

Quadro 1 – identificação dos motores estudados

Nº	Marca	Potência	Modelo	Carcaça	Fator de serviço (FS)	Isolação	Categoria	Rotação Nº Polos	Data de Fabricação
01	WEG	350 CV	W22	355M/L	1.15	H	N	ILEG	25/10/2017
02	WEG	350 CV	HGF	HGF355	1.00	F	N	8	01/10/1994
03	WEG	300 CV	W22	355M/L	1.15	F	N	4	02/09/2019
04	WEG	200 CV	ILEG	315S/M	ILEG	ILEG	ILEG	4	01/12/1994
05	WEG	300 CV	ILEG	355M/L	1.00	F	N	4	17/10/2007
06	WEG	550 CV	W22	355A/B	1.00	F	N	2	15/12/2016
07	WEG	200 CV	ILEG	315S/M	1.00	ILEG	ILEG	2	01/04/1996
08	WEG	250 CV	ILEG	315S/M	1.00	F	N	4	01/02/2002

09	WEG	250 CV	W22	315S/M	1.15	F	N	4	13/10/2011
10	WEG	300 CV	ILEG	355M/L	ILEG	ILEG	ILEG	6	04/02/2004

Fonte: elaborado pelos autores a partir das ordens de serviços (2021)
Marca – fabricante do produto
Potência – potência nominal que o motor fornece em regime contínuo expresso em Cavalo Vapor
Modelo – corresponde ao modelo do motor
Carcaça – forma construtiva do motor e suas características
Fator de serviço – fator de reserva adicional para o motor funcionar em condições desfavoráveis.
Isolação – temperatura máxima do material isolante pode suportar, F= 155º, H = 180º
Categoria – N, Conjugado de partida normal
ILEG – ilegível devido ao estado de conservação da placa de identificação

Por meio da análise das ordens de serviço, verificou-se os danos e as falhas ocorridas encontradas no processo de desmontagem para avaliação. Os dados coletados geraram informações de especificações que não estavam em conformidade com as especificadas pelo fabricante, tais como:

- tampa LA com folga (entende-se LA como Lado do Acionamento);
- tampa LOA com folga (entende-se LOA como Lado Oposto do Acionamento);
- rolamento LA aquecido / danificado;
- rolamento LOA aquecido / danificado;
- folga entre eixo e diâmetro interno do rolamento LA;
- folga entre eixo e diâmetro interno do rolamento LOA; e
- eixo quebrado;
- arraste do motor;
- bobinado em curto-circuito;
- bobinado com sinais de sobre aquecimento; e
- danos relacionados a alimentação.

O quadro 2 está preenchido com S que se entende por sim, e N que se entende por não. As cores em vermelho identificam a provável causa de como cada amostra parou de desempenhar a função.

Quadro 2 - diagnóstico dos motores

Nº do Motor	Tampa LA com folga	Tampa LOA com folga	Rolamento LA Aquecido / Danificado	Rolamento LOA Aquecido / Danificado	Folga entre eixo e diâmetro interno do rolamento LA	Folga entre eixo e diâmetro interno do rolamento LOA	Eixo Quebrado	Arraste do Motor	Bobinado em Curto-circuito	Bobinado com sinais de sobre aquecimento	Danos relacionados a alimentação
01	S	N	S	N	S	N	N	S	N	N	N
02	N	S	S	N	N	N	S	S	N	N	N

03	S	S	S	N	S	N	N	S	S	N	N
04	N	S	N	N	N	N	N	N	S	S	S
05	N	S	N	N	N	N	N	N	S	N	S
06	S	S	S	S	N	N	N	N	S	S	N
07	S	S	N	N	S	N	N	N	S	S	N
08	S	S	N	N	S	N	N	N	N	S	N
09	S	S	N	N	S	S	N	N	S	N	S
10	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N

Fonte: elaborado pelos autores (2021)

As ocorrências com o motor nº 1 aconteceram nesta sequência: o motor estava em velocidade nominal, houve a quebra do rolamento, o rotor entrou em contato com estator ocasionando o desarme das proteções, o rotor ainda em movimento forneceu movimento, o atrito gerado entre o eixo e fragmentos do rolamento danificaram o assentamento do rolamento e a tampa. Todos os danos e medidas fora das especificações ocorreram do lado do acionamento e a provável causa levantada na análise foi a tensão radial excessiva.

Para o motor nº 2 há uma similaridade entre os fatos ocorridos, o que houve além do descrito no motor 1 foi a folga na tampa oposta ao lado do acionamento e a quebra do eixo, a provável causa levantada na análise também foi a tensão radial excessiva aplicada ao eixo. Esses dois motores (nº 1 e nº 2) são do mesmo cliente, portanto, pode-se inferir que os procedimentos adotados utilizados foram os mesmos.

O motor nº 3 estava trabalhando em rotação nominal, o rolamento do lado do acionamento travou, o atrito superaqueceu a tampa, danificando-a, o rotor em contato com o estator movimentou as chapas em que são instaladas as bobinas provocando o curto-circuito e atuando as proteções elétricas. Por isso, a provável causa levantada na análise foi a falta de lubrificação.

O motor nº 4 apresentou folga acima do especificado pelo fabricante, do lado oposto ao acionamento, sinais de sobreaquecimento no bobinado e bobinado em curto-circuito. Também foram consideradas como prováveis causas da falha, a contaminação do bobinado, falha de material isolante, rápidas oscilações de tensão na rede, degradação do material isolante ocasionada por excesso de temperatura, sendo esses dois últimos considerados como os principais motivos do curto-circuito.

O motor nº 5 parou de desempenhar sua função devido ao curto-circuito no bobinado. Entre os indícios encontrados na análise, destacam-se a folga na tampa do lado oposto ao acionamento acima do especificado pelo fabricante, danos relacionados a alimentação e contaminação interna, sendo esses dois últimos considerados como os principais motivos do curto-circuito.

O motor nº 6 apresentou a mesma falha que o motor nº 5, porém, há folgas nas tampas do lado do acionamento e folga na tampa do lado oposto ao acionamento, os rolamentos do lado oposto ao acionamento e lado do acionamento também estão contaminados e, portanto, estão danificados e o bobinado apresenta sinais de sobreaquecimento, além do curto-circuito aparente. Conforme fotos da ordem de serviço, a provável causa levantada na análise foi a falta de lubrificação e sobrecarga de trabalho que levou ao sobreaquecimento do bobinado, rompendo a isolação e provocando o curto-circuito.

O motor nº 7 apresentou curto-circuito no bobinado, na análise foram encontradas folga da tampa no lado do acionamento, tampa do lado oposto do acionamento acima do especificado pelo fabricante, folga entre eixo e diâmetro interno do rolamento no lado do acionamento e sinais de sobreaquecimento no bobinado, esse último sendo considerada como a principal causa do curto-circuito apresentado.

O motor nº 8 apresenta folga na tampa do lado do acionamento, folga no lado oposto do acionamento, folga entre eixo e diâmetro interno do rolamento e sinais de sobreaquecimento no bobinado. Este motor foi encaminhado para reparo devido às folgas apresentadas nas tampas e eixo. A provável causa da parada desse motor foi identificada por meio da análise de vibração, realizada em campo, que apresentou valores definidos pelo cliente como críticos.

O motor nº 9 apresentou folga na tampa lado do acionamento, folga no lado oposto do acionamento, folga entre eixo e diâmetro interno do rolamento no lado do acionamento, folga entre eixo e diâmetro interno do rolamento no lado oposto, acionamento e curto-circuito, considerando que a provável causa está relacionada a alimentação do motor.

O motor nº 10 não apresenta nenhum tipo de folga acima do especificado pelo fabricante, os indícios encontrados são de sobreaquecimento no bobinado, fechamentos dos cabos com sinais de sobreaquecimento e o curto-circuito que gerou a falha no motor. A provável causa pode estar relacionada a um número maior de partidas que a recomendada em um determinado tempo, sobrecarga e rotor bloqueado. Esse sobreaquecimento ocorrido danificou as isolações e gerou o curto-circuito.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Geralmente, quando um motor falha e deixa de desempenhar a sua função para qual foi projetado, o procedimento adotado é basicamente a remoção e substituição do motor danificado e, posteriormente, o envio para o reparo, em muitos casos sem a avaliação do ocorrido. O problema desse procedimento é que o motor substituído pode voltar a falhar pelo mesmo motivo. Se o processo de investigação for conduzido de forma correta, na maioria dos casos, é possível identificar e corrigir a causa responsável pela falha (WEG, 2014).

Os motores desse estudo de caso apresentaram diversos pontos de não conformidades, segundo critérios do fabricante. Eles são de empresas de diversos seguimentos do mercado. Quando o motor é recebido para a manutenção não é informado o tipo de aplicação e se há histórico de manutenção.

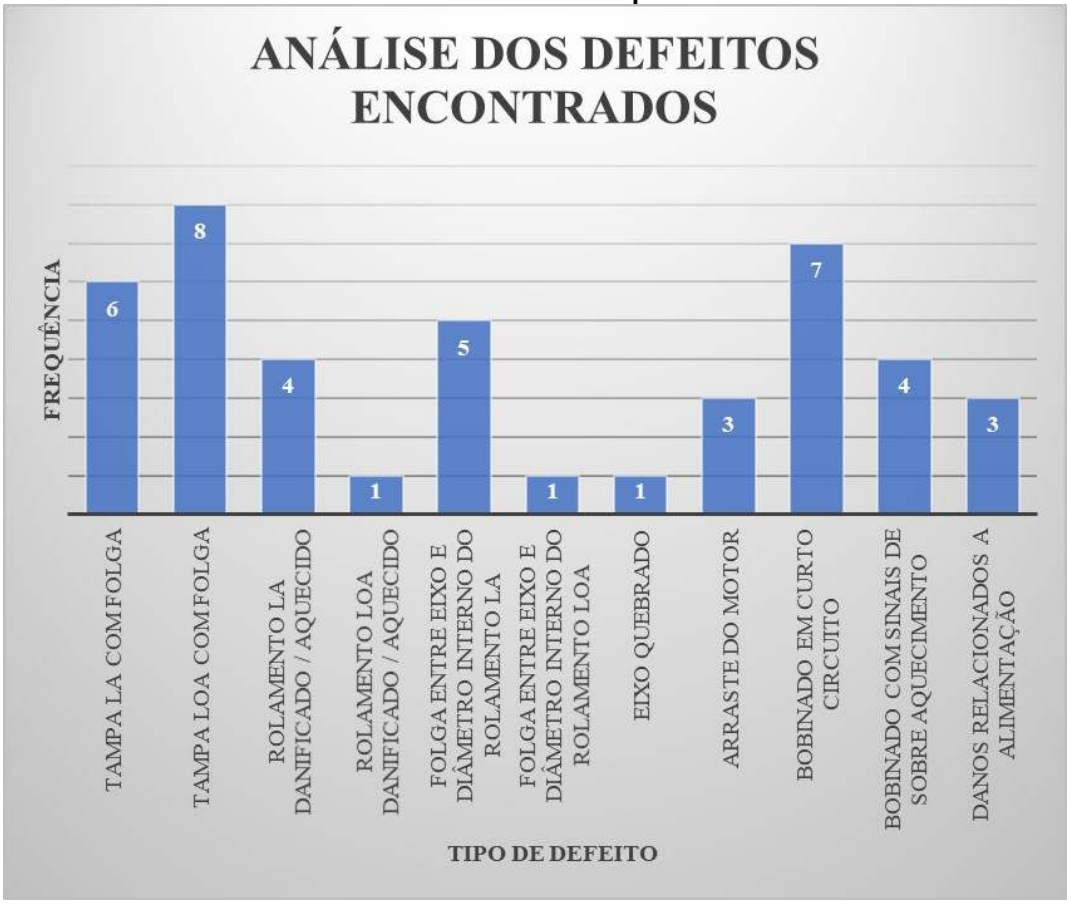
Para um diagnóstico preciso é necessário que o processo de investigação seja conduzido de maneira a proporcionar a coleta de dados da forma mais fiel possível, isto é, todas as informações da utilização, aplicação, meio ambiente, carga acionada, tipo de acoplamento com a carga, histórico de operação, desarmes de proteções, aumento de carga, medições de tensão e corrente anteriormente à falha, vibrações, entre outras (VERRI, 2007).

Mas, para chegar na causa raiz da falha dos componentes, é necessário evidências e comprovação científica. Por esse motivo, e devido a quantidade de pontos observados nas

análises das ordens de serviços e os danos apresentados, esse estudo limitou-se às duas principais evidências encontradas nas análises e aplicou-se a ferramenta da qualidade de diagrama de Ishikawa, com o objetivo de investigar de forma criteriosa e chegar a provável causa dos fatores que possam ter contribuído para a falha (WEG, 2014).

O gráfico 1 representa os danos encontrados durante o processo de análise.

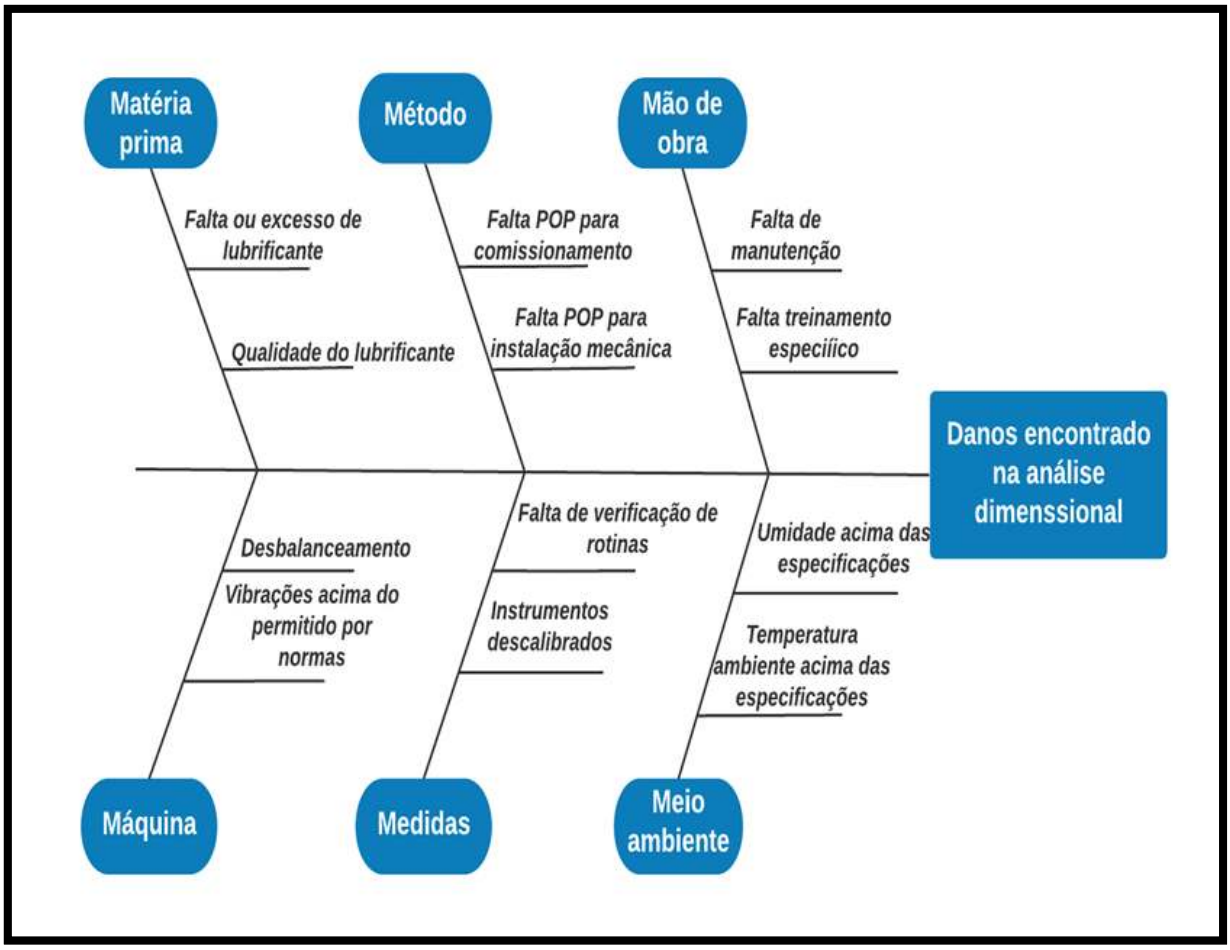
Gráfico 1 – Análise dos defeitos encontrados durante o processo de análise



Fonte: elaborado pelos autores (2021)

A figura 1 apresenta a construção do diagrama de Ishikawa, na qual procurou-se relacionar a provável causa e seus efeitos, dos fatores relacionados a análise dimensional dos motores e apontados nas ordens de serviços analisadas.

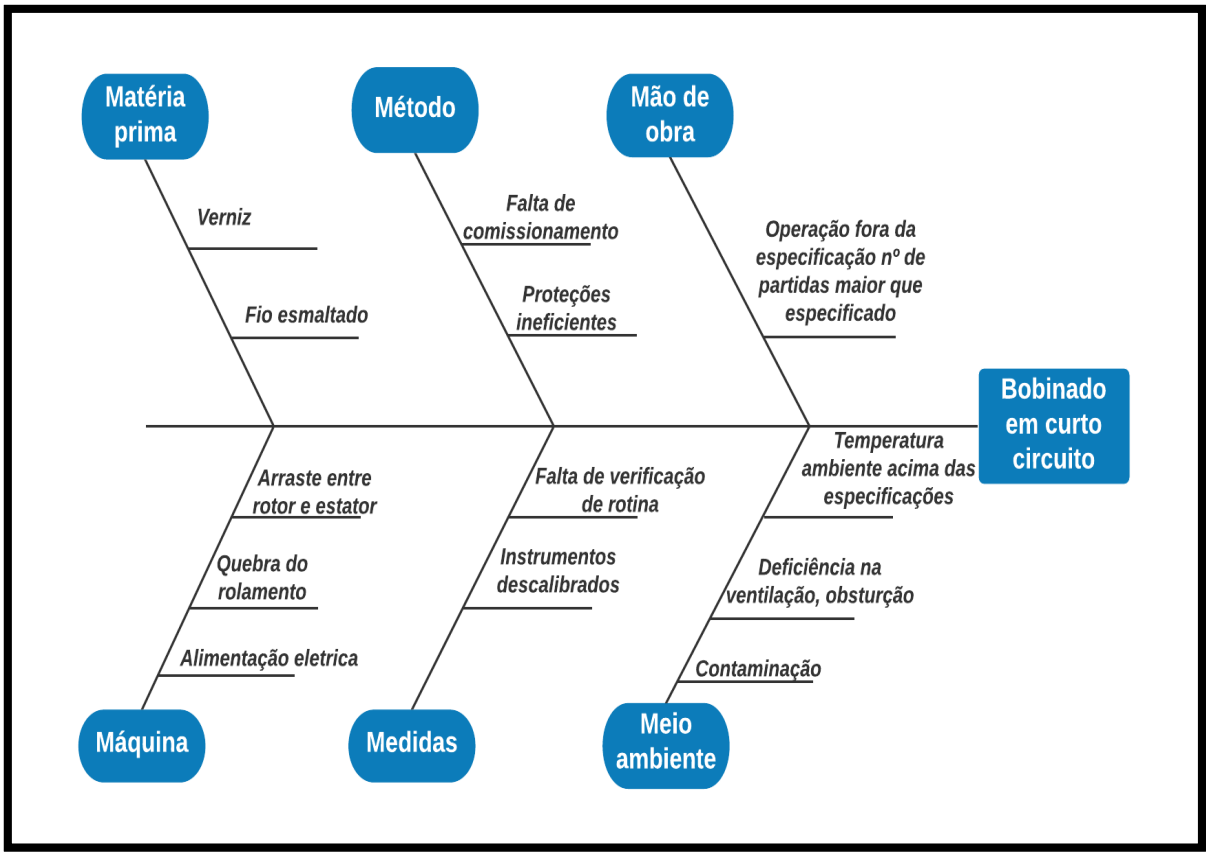
Figura 1 - Diagrama de Ishikawa - Análise Dimensional



Fonte: elaborada pelos autores (2021)
POP - Procedimento Operacional Padrão.

A figura 2 apresenta a construção do diagrama de Ishikawa, na qual procurou-se relacionar a provável causa e seus efeitos, dos fatores relacionados a curto-circuito dos motores e apontados nas ordens de serviços analisadas.

Figura 2 - Diagrama de Ishikawa - Curto-circuito



Fonte: elaborado pelos autores (2021)

4.1 Matéria prima, métodos e mão de obra

A qualidade da matéria prima envolvida no reparo é fundamental para alcançar a qualidade final do produto. Lubrificantes, fios esmaltados e verniz de impregnação devem ser homologados pelo fabricante.

Na análise das dez amostras não foram encontrados vestígios que comprovassem que os motores falharam por falta de qualidade da matéria prima.

Métodos ou mão de obra, nas etapas de montagem do bobinado, impregnação do verniz, montagem mecânica, uma falha em uma das etapas comentadas, levam a uma falha prematura, e não é caso das amostras estudadas (WEG, 2014).

Os fatores levantados no diagrama de Ishikawa estão relacionados à operação, no qual a qualidade do lubrificante, falta ou excesso dele influenciam na elevação de temperatura dos rolamentos e, por consequência, na vida útil. Quatro das dez amostras apresentam vestígios de sobreaquecimento/danificado nos rolamentos do lado do acionamento (WEG, 2019).

Os métodos podem e devem ser adotados a fim de minimizar as falhas, independente da etapa, seja montagem, operação, manutenção e os procedimentos de operação padrão auxiliam o profissional para esse fim. A falta de procedimento operacional padrão de comissionamento, instalação mecânica, montagem, falta de rotinas de verificações e proteções ineficientes podem ter contribuído para essas falhas (PINTO; XAVIER, 2012).

Tratando-se de mão de obra é possível destacar alguns fatores que podem ter contribuído para as falhas, tais como: a falta de qualificação técnica, a falta de treinamento específico, a operação fora da especificação, como número de partidas maior que o especificado ou, ainda, a falta de manutenção (WEG, 2019).

4.2 Máquina

A falha de curto-circuito é uma das principais causas em motores elétricos. Dentre as principais causas dessa falha pode-se citar as quatro que mais afetam esse tipo de máquina elétrica: aquecimento, falhas elétricas, falhas mecânicas, falhas do meio ambiente (WEG, 2014).

Das amostras retiradas para esse estudo de caso, notou-se que sete das dez amostras estão com o bobinado em curto-circuito.

O sobreaquecimento pode ser gerado de algumas formas: ambiente com temperatura acima do especificado, sobrecarga ou rotor bloqueado, tensão abaixo ou acima do especificado, desbalanço de tensão na rede de alimentação e deficiência na ventilação. Dessas sete amostras com o bobinado em curto-circuito, três apresentaram o bobinado com sinais típicos de sobreaquecimento (WEG, 2014).

Falhas elétricas podem ser decorrentes de picos de tensão, falhas de isolação, descargas parciais, manobras de grandes cargas na rede e ou manobra de bancos de capacitores para correção de fator de potência, falhas na impregnação e descargas atmosféricas. Das sete amostras em curto-circuito, outras três apresentam sinais típicos de falhas relacionadas a alimentação (WEG, 2014).

As falhas mecânicas podem ser relacionadas com dimensões críticas fora da tolerância estabelecidas pelo fabricante. Vibrações acima do especificado por normas, desbalanceamento, desalinhamento entre eixos, corpos estranhos soltos dentro da carcaça, arraste de rotor e estator e movimentação de bobinas podem ter contribuído e/ou influenciado diretamente nas falhas encontradas nas amostras. Ainda utilizando as sete amostras que estão com o bobinado em curto-circuito, apenas uma apresenta sinais típicos de arraste de rotor e estator. As três outras amostras apresentam falhas, de eixo quebrado, rolamento danificado e folga entre eixo e diâmetro interno do rolamento LA (WEG, 2014).

4.3 Meio ambiente e medidas de acompanhamento de rotina

Os motores analisados não apresentam indícios de contaminação de ambientes com agentes químicos. Já em quatro das dez amostras, apresentam sinais de sobreaquecimento em seu bobinado e a elevação da temperatura ambiente influência diretamente nesse caso, porém não há registros desses dados pelos clientes.

Outros fatores foram levantados nos diagramas de Ishikawa como: umidade acima das especificações, deficiência da ventilação e/ou obstrução (WEG, 2014). Esses, por sua vez, também não foram informados pelos clientes.

Em medidas, pode-se destacar que, instrumentos descalibrados e falta de verificação de rotina são cruciais no cuidado desse tipo de máquina elétrica (WEG, 2019).

4.4 Resultado da análise: alternativas de técnicas preditivas

Motor de indução de corrente alternada trifásico é uma máquina elétrica de forma construtiva simples, de poucos componentes, cuja finalidade é transformar energia elétrica em energia mecânica. Os principais componentes são: rotor, estator, bobinado, rolamentos, tampas, eixo, ventilador e tampa defletora (WEG, 2019).

Sabendo-se que as técnicas preditivas são baseadas em parâmetros adquiridos nas análises e que a modificação desses parâmetros são indícios que podem afetar e comprometer a operação, a monitoração em determinados períodos se torna fundamental. Há várias técnicas que se enquadram como preditivas, como índice de polarização e absorção, surge test, análise de espectro da corrente elétrica, análise de vibração, termografia dentre outros. Essas, porém, exigem equipamentos específicos e mão de obra especializada e, para alguns desses ensaios, é necessária a parada do motor (BACCARINI, 2005).

Usualmente na indústria utiliza-se basicamente inspeções visuais, verificações de rotinas dos valores da corrente elétrica esperando-se encontrar equilíbrio entres as fases, análise de vibração e termografia, esses ensaios se tornam interessantes, pois podem ser realizados com o equipamento em operação.

Das amostras estudadas a maioria dos defeitos poderiam ter sido identificados aplicando-se as técnicas descritas como usuais, anteriormente descritas, mas existem condições de funcionamento em que a carga varia conforme a demanda do processo, condições essas que exigem mais do motor, podendo levá-lo a operar fora das condições ideais e, só seria visualizado no momento, caso a análise de rotina estivesse acontecendo.

Portanto tomando por base as principais causas prováveis das falhas, viu-se como um fator interessante a monitoração contínua da temperatura e atuação para proteção, caso a elevação da temperatura chegasse ao valor estabelecido como nível seguro de operação e, também, se enquadra como técnica preditiva de monitoramento contínuo.

4.5 Resultado da análise: estimativa do custo de reparo x investimentos para proteção

Para as amostras apresentadas nesse estudo de caso foram estimados os custos envolvidos, pois por motivos estratégicos de mercado a empresa não autorizou a divulgação dos custos reais. Serão apresentados a seguir os custos envolvidos na manutenção de duas amostras, uma com menos quantidade de itens a ser reparado, amostra nº 1 e a outra com mais danos, amostra nº 3.

O custo de reparo para o motor nº 1 é de aproximadamente R$ 11.700,00 e leva de 5 a 10 dias úteis após a aprovação.

O custo de reparo para o motor nº 3 é de aproximadamente R$ 88.000,00 e leva de 5 a 10 dias úteis após a aprovação.

A solução proposta para esse estudo de caso é composta em duas etapas. A primeira etapa relaciona-se a instalação dos dispositivos de proteção térmica, que é composto por: instalação dos sensores de temperatura nas tampas e bobinado e relé de proteção térmica monitorando a temperatura desses itens (WEG, 2014). O investimento será R$ 9.964,00 (contemplando-se a instalação a 20 metros, infraestrutura, 24h de eletricista e 24h de mecânico).

A segunda parte é composta por elaboração de procedimento operacional padrão, planejamento de lubrificação, inspeção de rotina com monitoração de tensão e corrente, confecção de laudo e treinamento para os mantenedores e operadores (WEG, 2019).

A análise preditiva de vibração e termografia deverá ser realizada no comissionamento do motor para estabelecer os padrões de funcionamento e, dependendo da classificação de criticidade do equipamento, pode-se incorporar essa técnica como parte do plano de rotina, o custo para uma diária de 8h é de R$ 1.200,00.

5 CONCLUSÃO

Atualmente, a busca por eficiência no sistema produtivo tem se tornado a solução para as indústrias, diante do mercado competitivo e globalizado. Nesse cenário, a implantação de técnicas, dispositivos e conscientização delas é inevitável (PINTO; XAVIER, 2012).

Analisando-se as principais causas das falhas foi percebido que na maioria dos casos sempre há algum evento relacionado à temperatura e à análise dimensional (WEG, 2014).

Portanto, a solução proposta, visando a proteção e a confiabilidade dos motores, se torna atrativa, pois nesse estudo de caso, o custo com a manutenção corretiva da amostra nº 1 é superior à implantação da solução proposta. Além disso, a atuação dessas proteções durante o processo produtivo levaria a identificar precocemente um possível desvio de funcionamento (WEG, 2019).

Pode-se inferir, ainda, que há uma percepção, ainda que no âmbito teórico, que as técnicas proativas de manutenção são evidenciadas pelos custos inferiores em relação a manutenção corretiva convencional (PINTO; XAVIER, 2012).

Os motores nº 1 (menor dano) e nº 3 (maior dano) são motores que facilmente ultrapassam valores acima de R$ 120.000,00. Portanto, investimentos que visam garantir a integridade da máquina são sempre justificados, além da confiabilidade para o sistema produtivo.

Esse estudo de caso abriu a possibilidade para novas etapas de estudos, investigações que podem utilizar os métodos adicionais de proteções, entre outras possíveis vertentes.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Luiza. **Diagrama de Ishikawa:** o que é e como fazer. 2017. Disponível em: https://www.siteware.com.br/blog/metodologias/diagrama-de-ishikawa/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20Diagrama%20de%20Ishikawa%3F,causa%20principal%20de%20um%20problema. Acesso em 20 mar. 2021.

BACCARINI, Lane Maria Rabelo. **Detecção e diagnóstico de falhas em motores de indução.** 2005. 207 p. Tese (Doutor em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais - PPGEE/UFMG, Belo Horizonte/MG.

FREITAS, Laís Fulgêncio. **Elaboração de um plano de manutenção em uma pequena empresa do setor metal mecânico de Juiz de Fora com base nos conceitos da manutenção preventiva e preditiva.** 2016. 96 p. Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade federal de Juiz de fora - MG, faculdade de engenharia.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: Função estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico:** métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Freevale, 2013.

RODRIGUES, Gabriel. **Manutenção preditiva, preventiva e corretiva: entenda a diferença entre elas!** 2018. Disponível em: https://www.blog.auvo.com/post/manutencao-preditiva-preventiva-e-corretiva. Acesso em: 11 jun. 2021.

VERRI, Luiz Alberto. **Gerenciamento pela qualidade total na manutenção industrial:** aplicação prática. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007. 144p.

VIANA, Hebert Ricardo Garcia. **Planejamento e controle de manutenção (PCM)**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **Motores elétricos diagnóstico de falhas.** Jaraguá do Sul – SC, 2014.

_____. **Manual geral de instalação, operação e manutenção de motores elétricos.** Jaraguá do Sul – SC, 2019.