

ESTUDO SOBRE AS CAUSAS E OS MEIOS DE DETECÇÃO DE FUGA DE CORRENTE POR ROLAMENTOS EM MOTORES DE INDUÇÃO

Fabio Borges Gomes¹; José Henrique Rezende da Silva¹; Jair Antônio Longo Júnior^{2,6}; Richard Vieira do Espírito Santo^{3,6}; Weslin Keven Savaris^{4,6}; Rogério Henrique Zuliani Scheolin^{5,6*}

¹ Engenheiro eletricitista – FITL/AEMS; ² Mestre em Engenharia Elétrica – UNESP; ³ Esp. em Engenharia de Software – Universidade Estácio de Sá; ⁴ Mestre em Engenharia Elétrica – UNESP; ⁵ Engenheiro eletricitista – UNESP; ⁶ Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

* Autor correspondente: rhzuliani@yahoo.com.br

RESUMO

Estudos sobre a confiabilidade de motores revelam que os rolamentos constituem o componente mais afetado pela ocorrência de avarias em motores de indução trifásicos. A detecção de defeitos em uma preditiva quando estão ainda em fase de evolução, através da comparação de espectros de vibração e outros métodos de análise, possibilitam as equipes de manutenção planejar uma ação corretiva e rápida para evitar ou minimizar possíveis falhas no processo de produção da fábrica. O motor de indução quando acionado por inversor de frequência através da modulação de largura de pulso (PWM - *pulse width modulation*) de uma onda quadrada consegue o controle de potência ou velocidade do equipamento. Entretanto, esse acionamento induz tensões de modo comum eletrostáticas e eletromagnéticas de alta frequência em partes internas do motor, produzindo correntes que fluem através dos rolamentos, entreferro e núcleo do estator. Estas correntes danificam os rolamentos, a começar pela degradação da graxa de lubrificação dos rolamentos, terminando com a produção de marcas, queimaduras e estrias em suas pistas de rolagem, reduzindo a vida útil e a confiabilidade do motor. Com isso surgem as soluções disponíveis no mercado para reduzir os níveis alarmantes de fuga de corrente por rolamentos em motores de indução, como por exemplo a utilização de escovas de aterramento e as tampas com cubo do rolamento eletricamente isolado. A montagem de uma escova de aterramento no eixo apresenta-se como uma boa solução para evitar a danificação dos rolamentos, ressaltando que nessa condição, é necessário, a utilização de rolamentos isolados em um dos lados do motor. Isto eliminaria a circulação de corrente pelos rolamentos de maneira mais eficaz.

PALAVRAS-CHAVE: acionamento; rolamentos; preditiva; aterramento.

1 INTRODUÇÃO

Os motores elétricos são as máquinas mais utilizadas mundialmente para execução de tarefas próprias que envolvem movimentação ou deslocamento. Basicamente, eles são constituídos por dois elementos, rotor e estator. Dentre os vários tipos de motores existentes, os de indução merecem destaque por serem máquinas elétricas que possuem a capacidade de converter energia elétrica em mecânica, através do campo magnético gerado pela excitação dos enrolamentos

do estator, o qual induz o núcleo do rotor e, conseqüentemente, gera um conjugado de torque capaz de rotacionar o eixo. Dessa forma, isso o faz ser muito utilizado na indústria em função das suas vantagens, tais como construção robusta, facilidade em gerenciamento e controle do ativo, baixo custo de fabricação e por apresentarem boas condições em seu funcionamento (PINHEIRO, 2011).

Normalmente, os motores de indução são acionados por inversores de frequência. Quando acionado por inversor de frequência através da modulação de

largura de pulso PWM (*pulse width modulation*) de uma onda quadrada, é possível obter o controle de potência ou velocidade do equipamento. Além disso, ele simula uma onda senoidal na saída do conversor, através dos circuitos IGBT's (*insulated gate bipolar transistor*). No entanto, vale ressaltar algumas desvantagens dessa aplicação, como a indução de tensões eletrostáticas e eletromagnéticas de alta frequência em partes internas do motor, produzindo correntes que fluem através dos rolamentos, entreferro e núcleo do estator. Estas correntes danificam os rolamentos, a começar pela degradação da graxa de lubrificação dos rolamentos, terminando com a produção de marcas, queimaduras e estrias em suas pistas de rolagem, reduzindo a vida útil e a confiabilidade do motor de indução (ALMEIDA, 2011; ARAÚJO et al., 2010).

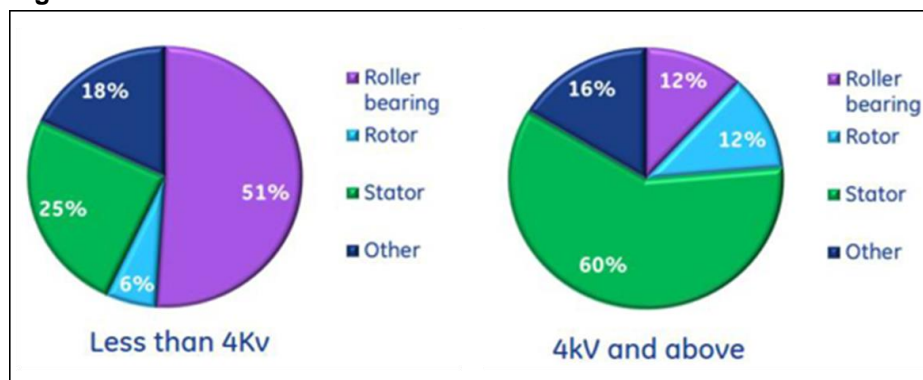
Como se sabe, uma ponte inversora operando sob PWM gera naturalmente, durante o seu funcionamento, uma tensão de modo comum, visto que a soma instantânea das tensões de fase resulta num valor não-nulo. Tal tensão gera correntes de deslocamento para a terra em todos os acoplamentos capacitivos do conversor, cabo e motor. No tocante ao

motor, tais correntes de alta frequência fluem do enrolamento trifásico para os núcleos do rotor e estator em direção à sua carcaça aterrada. As correntes que alcançam o rotor têm a alternativa de retornar à fonte de tensão PWM através dos rolamentos, entreferro ou, ainda, por algum outro acoplamento associado à carga mecânica ligada ao eixo do rotor (ALMEIDA, 2011).

Estudos sobre a confiabilidade de motores revelam que os rolamentos constituem o componente mais afetado pela ocorrência de avarias em motores de indução trifásicos, em destaque para os motores de Tensão < 4 kV, conforme mostrado na Figura 1 (ARAÚJO et al., 2010).

Dentre as causas da deterioração dos rolamentos, podem ser citadas as correntes e tensões de modo comum, geradas entre o ponto comum do enrolamento trifásico e o aterramento do circuito; as pulsações de conjugado devido às barras quebradas ou trincadas no estator; e a presença indesejada de harmônicos de baixa frequência na rede, por conta de frequências de chaveamentos (ARAÚJO et al., 2010).

Figura 1. Áreas de falha em motores.



Fonte: Extraído de SKF, 2018.

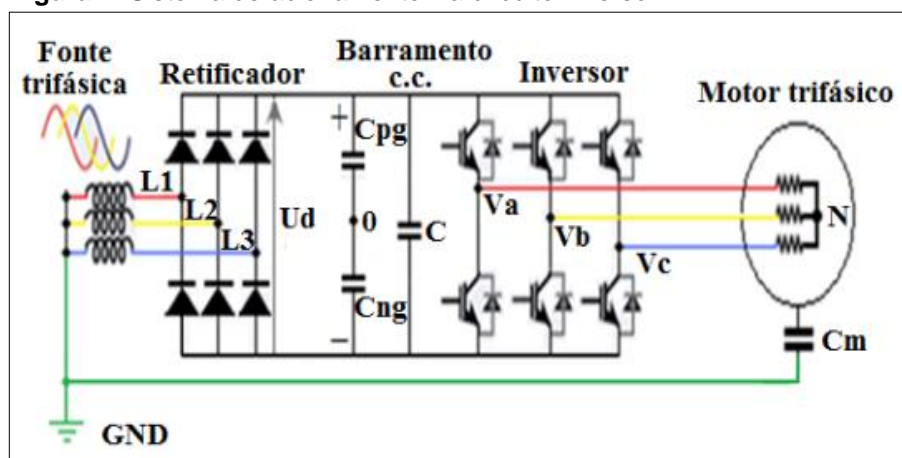
A análise de barras quebradas em um motor de indução trifásico com rotor em gaiola, possibilita a verificação de barras quebradas ou trincadas que

perturbam o fluxo magnético do motor, fazendo flutuar a frequência do rotor. As pulsações que podem aparecer no conjugado desenvolvido pela máquina tornam-

se uma das causas da deterioração dos rolamentos. Existe dois tipos de análise,

análise por corrente elétrica e por vibração mecânica (ARAÚJO et al., 2010).

Figura 2. Sistema de acionamento via circuito inversor.



Fonte: Extraído de Almeida, 2011.

A tensão V_{cm} apresenta-se como uma diferença de potencial estabelecida do enrolamento trifásico do estator para o solo, sendo distribuída pelos acoplamentos capacitivos existentes dentro do motor. Essa tensão é verificada entre o ponto comum do enrolamento trifásico “N” e o ponto aterrado “GND”, como mostra a Figura 2, cuja amplitude atinge valores tão altos quanto o valor da tensão do barramento c.c. e a sua forma de onda apresenta as mesmas variações de chaveamento dos IGBT’s, que constituem a ponte inversora. A tensão V_{cm} pode ser medida com facilidade ao se conectar as pontas de prova do medidor de tensão entre o ponto neutro do enrolamento trifásico e um ponto aterrado qualquer (ALMEIDA, 2011).

Ainda de acordo com Almeida (2011), os valores instantâneos das tensões V_{pg} e V_{ng} são aplicados às barras positiva e negativa pelas chaves S1 e S2, respectivamente. A ponte retificadora é modelada por uma chave ideal,

conectada em série com cada fonte de tensão (neste caso, a corrente de modo comum não deve ser confundida com a de modo diferencial, pois ela sempre busca um acoplamento para a terra, enquanto a corrente diferencial circula entre fases). A tensão V_{cm} que é aplicada nos terminais do motor produz uma corrente de sequência zero que retorna ao ponto “0”, através da malha de aterramento, dissipadores de calor e capacitâncias C_{pg} e C_{ng} , existentes entre os IGBT’s e os dissipadores. A saída da ponte inversora é modelada em função da comutação de tais IGBT’s nas três fases, havendo uma única tensão V_{cm} aplicada nos cabos de alimentação do motor de indução. Portanto, a tensão V_{cm} é uma resultante da combinação instantânea das três tensões de fase na saída da ponte inversora, possuindo quantidades c.c. variáveis no tempo e descrita pela equação (1.0), onde $k \in \{0,1,2,3\}$.

$$V_{cm} = \left(\frac{1}{3}\right) \cdot [k \cdot V_{pg} + (3 - k) \cdot V_{ng}] \quad \text{Eq. (1.0)}$$

Os IGBT's, acionamentos modernos de velocidade variável, com os seus picos rápidos de aumento de tensão e frequências de comutação elevadas, podem provocar picos de corrente através das chumaceiras do motor, o que provoca a erosão gradual das pistas da "chumaceira", ou nos mancais de rolamentos, assim chamado atualmente. O stress no isolamento do motor pode ser evitado usando os filtros du/dt, os quais protegem o isolamento do motor e reduzem as correntes nas chumaceiras, ou os filtros de modo comum (CMF), que reduzem principalmente as correntes nas chumaceiras. Eles podem atuar individualmente ou combinados, obtendo uma melhor performance. Além disso os filtros du/dt podem ser substituídos por filtros sinusoidais, que protegem o sistema de isolamento do motor (ABB S.A., 2008).

Apesar dos inversores modernos operarem com frequências de chaveamento suficientemente elevadas, a operação do motor com velocidades mais próximas da nominal requer o funcionamento do inversor na região de sobremodulação, fazendo com que harmônicos de baixa frequência, da ordem $6k \pm (1 k = 3, 2, 1, \dots, n)$, voltem a surgir em sua tensão de saída, resultando em pulsação e redução do conjugado. Tomando-se como exemplo o 5° e 7° harmônicos, têm-se que o primeiro é de sequência negativa, ao passo que o último é de sequência positiva, gerando campos girantes de sentidos opostos. Dessa forma, ambos induzem no rotor frequências equivalentes ao sexto harmônico, gerando pulsações de conjugado nesta mesma frequência. Tais oscilações tornam-se fator de preocupação em relação ao tipo de aplicação pretendida para o acionamento motor-inversor e ao sistema mecânico (ARAÚJO et al., 2010).

O chaveamento da ponte inversora também produz tensões pulsantes de modo diferencial no enrolamento trifásico,

em alta frequência, gerando correntes que são acopladas para o núcleo do estator e novamente acopladas para outra fase. A intensidade dessas correntes do modo diferencial, bem como o fluxo magnético pulsante por elas induzido, vai diminuindo à medida que elas vão deixando as bobinas de cada fase. Isso resulta em uma diferença de potencial entre as pontas do eixo, de forma pulsante. Portanto, tal tensão induzida no eixo, eletromagneticamente, gera uma corrente circulante pulsante na malha fechada, constituída pela ponta do eixo de maior potencial, rolamentos, tampas do motor, carcaça e ponta do eixo de menor potencial (ALMEIDA, 2011).

O motor por ser amplamente utilizado, ele merece um cuidado maior quanto a sua manutenção, no desenvolvimento de métodos da condição e diagnóstico de falha do equipamento, com ênfase em técnicas remotas sem interrupção de sua operação. Esses métodos podem ser classificados em off-line (fora de operação) e on-line (em operação). Através de medidores e sensores, é possível diagnosticar um motor através de suas grandezas, como: corrente elétrica, fluxo magnético, vibrações, ondas acústicas, temperatura, fluidos de refrigeração ou lubrificação. As análises dessas medidas são necessárias para identificar uma possível falha na vida útil do equipamento. Dentre elas existem: análise temporal, análise espectral, análise Wavelet, análise com base em modelo, análise estatística. As técnicas *off-line* incluem o teste de alto potencial, teste de isolamento, teste de resistência e análise do circuito do motor (MCA). Já as técnicas *on-line* são análise de vibração, análise termográfica (termografia), análise acústica, medidas elétricas e análise de assinatura elétrica (ESA) (SILVA, 2008).

Embora as máquinas rotativas sejam usualmente bem construídas e robustas, a possibilidade de defeitos é

inevitável. A detecção de defeitos em uma preditiva quando estão ainda em fase de evolução, através da comparação de espectros de vibração e outros métodos de análise, possibilitam as equipes de manutenção planejarem uma ação corretiva e rápida para evitar ou minimizar possíveis falhas no processo de produção da fábrica. Dentre os métodos disponíveis nos processos de manutenção das indústrias, prioriza-se a análise de vibração em mancais e rolamentos, em função do maior número de ocorrências associadas aos mesmos. As quatro frequências

naturais dos rolamentos (f_n) são definidas como, (i) frequência do anel externo, (ii) frequência do anel interno, (iii) frequência da gaiola e (iv) frequência dos corpos rolantes. As diferentes frequências típicas e seus múltiplos são obtidos pelas fórmulas apresentadas na Figura 3, nas qual n é a velocidade de rotação do eixo (Hz), D_p e D_{cr} são os diâmetros primitivos e do corpo rolante (mm), N_{cr} é o número de corpos rolantes e β é o ângulo de contato (graus) (ARAÚJO et al., 2010).

Figura 3. Frequências típicas dos componentes de um rolamento.

$$\begin{aligned}
 \text{Anel externo (Hz)} &= f_{bor} = \frac{N_{cr}}{2} n \left(1 - \frac{D_{cr}}{D_p} \cos \beta \right) \\
 \text{Anel interno (Hz)} &= f_{bir} = \frac{N_{cr}}{2} n \left(1 + \frac{D_{cr}}{D_p} \cos \beta \right) \\
 \text{Corpos rolantes (Hz)} &= f_{bs} = \frac{D_p}{2D_{cr}} n \left(1 - \left(\frac{D_{cr}}{D_p} \cos \beta \right)^2 \right) \\
 \text{Gaiola (Hz)} &= f_{ft} = \frac{n}{2} \left(1 - \frac{D_{cr}}{D_p} \cos \beta \right)
 \end{aligned}$$

Fonte: Extraído de Araújo et al., 2010.

Dessa forma, conhecendo as frequências esperadas de cada elemento do rolamento, torna-se possível avaliar o espectro de vibração e determinar a existência de defeitos. Além disso, a partir das frequências naturais é viável aplicar outros métodos de análise de falhas para diagnosticar rolamentos que já foram danificados, independentemente da causa, como a análise da corrente do estator, análise do conjugado eletromagnético, análise pelo vetor de *Park*, e pela comparação dos métodos de análise de rolamentos (ARAÚJO et al., 2010).

Desde o início da utilização dos motores de indução trifásicos, muitos

pesquisadores trabalharam no sentido de atenuar os efeitos das correntes de rolamento, tanto em baixas quanto em altas frequências, apresentando várias soluções de mitigação no decorrer do tempo, como: aterramento do eixo, utilização de rolamento isolado, emprego de rolamento cerâmico e híbrido, uso de graxa condutora, aplicação de filtros de emissão de interferências eletromagnéticas “EMI”, execução de blindagens no interior do motor de indução, utilização de ponte inversora dupla, desenvolvimento de compensador ativo de tensão de modo comum, desvio da corrente de modo comum através de caminhos alternativos de baixa impe-

dância, elevação da impedância do circuito de modo comum. No entanto, as soluções que apresentaram alto índice de atenuação não foram impostas devido ao custo elevado (ALMEIDA, 2011).

2 OBJETIVOS

O objetivo desse artigo é apresentar quais as causas e os meios de detecção de fuga de corrente por rolamentos em motores de indução através de estudo prático.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi baseado nos dados e condições dos motores de indução trifásicos da linha ABB de uma fábrica de celulose na região de Três Lagoas - MS. A

princípio, foi feito o levantamento dos relatórios de análise de vibração dos motores em alerta pela equipe de manutenção preditiva - SFK (*svenska kullager fabriken*), logo foi feita a inspeção in loco do tipo do acionamento dos motores. Com o aparelho de medição SKF TKED 1 foi possível realizar a medição de descargas nos rolamentos. E, por fim, foi feita a análise de dois motores que passaram por intervenção com corte dos rolamentos para análise.

3.1 Dados Gerais

Em um primeiro momento foi feito o levantamento de dados do local de instalação, denominação, tipo de acionamento e carcaça do motor, conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1. Dados gerais dos motores.

Área	Loc. Instalação	Denominação	Acionamento	Carcaça
LF F2	21-41-0-30-60	MOTOR BBA ALIMENT DEPURADOR PRIMÁRIO 1	SOFT	NXR 400 MJB
LF F2	21-11-0-30-08	MOTOR BBA LICOR RES- FRIAM. FUNDO DIGES- TOR	DOL	M3BP355LKA4
LF F2	21-11-0-45-01	MOTOR ROSCA DE SELA- GEM DO SILO – H2	DOL	M3BP280SMC4G
LF F2	21-21-0-30-52	MOTOR BBA LIMPEZA DOS DDW POLPA MAR- ROM	DOL	M3BP225SMB2G
SECAGEM M3	33-27-0-10-01	MOTOR BBA HIDRAUL 4 PRENSA FARDOS	DRIVE	M3BP225SMB2G
EVA F2	41-11-0-30-38	BBA CONDENSADO CON- TAMINADO	DOL	M3BP355SMA10
LF F2	21-11-0-30-08	MOTOR BBA LICOR RES- FRIAM. FUNDO DIGES- TOR	DOL	M3BP355LKA4
LF F2	21-41-0-10-36	MOT DEPURADOR SE- CUNDÁRIO	SOFT	M3BP450LC8G
EVA F2	51-31-0-30-08	MOT BBA ALIMENTAÇÃO OSMOSE REVERSA D	DOL	M3BP355LKA4G
SECAGEM M2	32-11-0-30-04	MOT BBA ALIMENT 1 ES- TÁGIO DEPURACÃO	SOFT	M3BP355LKA4G

Fonte: Extraído de Gomes e Silva, 2020.

3.1.1 Tipo de Carcaça e Detalhes do Acionamento

Foi selecionado o motor M3BP de

carcaça 160 a 450 com acionamento do tipo partida direta (DOL); soft starter e VSD (*variable speed drive*).

Figura 4. Cronograma de manutenção ABB.

	Nível 1 (L1)	Nível 2 (L2)	Nível 3 (L3)	Nível 4 (L4)
Intervalo	Max. 10 000h (horas equivalentes) de operação ou anual.	Max. 20 000h (horas equivalentes) de operação ou Max. 3 anos.	Máximo 40 000h (horas equivalentes) de operação ou máx. 6 anos.	Max 80 000h (horas equivalentes) de operação ou max. 12 anos.
Preparações para Inspeção	Abertura de tampas de inspeção *	Abertura de tampas de inspeção. Abertura das tampas dos mancais de deslizamento (se houver)	Desmontagem de tampas. Abrindo as tampas de proteção. Abertura das tampas dos mancais de deslizamento (se houver)	Abertura de rolamentos desmonte as tampas de proteção e remova o rotor
Peças sobressalentes	Kit de manutenção preventiva L1	Kit de manutenção preventiva L2 e sugestões de inspeções anteriores	Kit de manutenção preventiva L3 e sugestões de inspeções anteriores	Kit de manutenção preventiva L4 e sugestões de inspeções anteriores
Tempo Estimado	Aprox. 1 day.	Aprox. 2 days.	Aprox. 5 days.	Aprox. 10 days.

Fonte: Extraído de Pereira, 2020.

3.1.2 Condição da Planta e Dados Operacionais

A proteção dos motores foi feita via supervisor de acionamento, com a fundação do tipo rígida.

3.1.3 Programa de Manutenção Preventiva

Um cronograma de manutenção seguindo os conceitos básicos da empresa multinacional ABB (*asea brown boveri*) é determinado a partir das condições reais do local, do número de horas de operação, do modo de operação e do número de partidas da máquina, conforme a Figura 4.

3.2 L1 – Manutenção Preditiva e Preventiva para Motores de Indução

Com base nos dados do cronograma de manutenção foi possível identificar o nível dos equipamentos a serem analisados – Nível L1.

3.2.1 Análise de Vibração

O método foi utilizado para prever

falhas nos equipamentos por meio de seus níveis de vibração. Ela pode indicar algum defeito específico, como: desbalanceamento, folgas mecânicas, eixo empenado, defeitos no rolamento, problemas na lubrificação, falhas elétricas, engrenagens defeituosas, falhas em polia, desalinhamentos etc. É muito utilizado na indústria, como meio de manutenção preditiva dos equipamentos.

Figura 5. GX75 SKF.



Fonte: Extraído de SKF, 2012.

A Figura 5 mostra o modelo de equipamento de análise de vibração GX75 SKF.

3.2.1.1 Tendência do Equipamento

O gráfico de tendência da Figura 6 mostra como um determinado indicador

se comporta ao longo do tempo. Com ele, é possível identificar padrões no comportamento do indicador, como sazonalidade, tendência de aumento, queda ou ciclos.

Figura 6. Gráfico de tendência do equipamento (motor).



Fonte: Extraído de SKF, 2019.

Pode-se observar linhas de referências (limites), as quais indicam o estado em que o equipamento (ativo) se encontra, como (i) abaixo da linha amarela (aceitável - indica condição estável do equipamento, operando em seu estado normal); (ii) entre linha amarela - linha vermelha (alerta) - indica condição de alerta do equipamento, deve-se abrir nota para sua manutenção; e acima da linha vermelha (crítico) - indica condição crítica de operação do equipamento, deve-se tirar o quanto antes da linha de operação.

3.2.2 Relatório de Análise de Vibração (SFK) dos Motores em Alerta

Conforme análise dos relatórios de vibração realizados pela empresa SKF, durante monitoramento de rota dos motores, temos a seguinte relação de ocorrências de alerta, conforme o Quadro 2.

Foram diagnosticados 08 motores com falha por BPFO (pista externa), 01

moto com falha relacionada a deficiência de lubrificação, e 01 motor com diagnóstico de falha por BPFO (pista externa) + folga. A maioria dos tipos de defeito identificados possuem característica de falha na pista externa (BPFO) em condição de alerta (níveis de aceleração Gs > 4.5 mm/s). Outras falhas comuns encontradas nos rolamentos são: falha na gaiola do rolamento (FTF), falha nos elementos rolantes (BSF), e falha na pista interna do rolamento (BPFI).

3.3 Atividades Realizadas

Entre as atividades realizadas, foram feitas a inspeção in loco do tipo de acionamento dos motores, realizado a medição com o aparelho detector de descargas elétricas e, por fim a inspeção visual dos rolamentos.

Quadro 2. Ocorrência de defeitos.

Área	Loc. Instalação	Denominação	Acionamento	Tipo de Defeito	Carcaça
LF F2	21-41-0-30-60	MOTOR BBA ALIMENT DEPURADOR PRIMARIO 1	SOFT	Pista externa BPFO	NXR 400 MJB
LF F2	21-11-0-30-08	MOTOR BBA LICOR RESFRIAM. FUNDO DIGESTOR	DOL	Pista externa BPFO	M3BP355LKA4
LF F2	21-11-0-45-01	MOTOR ROSCA DE SELAGEM DO SILO – H2	DOL	Atrito/Carpete/Deficiência de lubrificação	M3BP280SMC4G
LF F2	21-21-0-30-52	MOTOR BBA LIMPEZA POLPA MARROM	DOL	Pista externa BPFO / Folga	M3BP225MB2G
SECAGEM M3	33-27-0-10-001-D	MOT D BBA HIDRAUL 4 PRENSA FARDOS	DRIVE	Pista externa BPFO	M3BP225MB2G
EVAPORAÇÃO	41-11-0-30-38	BBA CONDENSADO CONTAMINADO	DOL	Pista externa BPFO	M3BP355SMA10
LF F2	21-11-0-30-08	MOTOR BBA LICOR RESFRIAM. FUNDO DIGESTOR	DOL	Pista externa BPFO	M3BP355LKA4
LF F2	21-41-0-10-35-A	MOTOR DEPURADOR SECUNDARIO	SOFT	Pista externa BPFO	M3BP450LC8G
EVAPORAÇÃO	51-31-0-30-08	MOT BBA ALIMENTAÇÃO OSMOSE REVERSA	DOL	Pista externa BPFO	M3BP355LKA4G
SECAGEM M2	32-11-0-30-04	MOT BBA ALIMENT 1 ESTÁGIO DEPURACÃO	SOFT	Pista externa BPFO	M3BP355LKA4G

Fonte: Extraído de Gomes e Silva, 2020.

3.3.1 Inspeção *in loco* do tipo de acionamento dos motores

Na inspeção do tipo de acionamento dos motores foi verificado que 06 motores com acionamento via partida direta (DOL); 03 motores com acionamento via Soft Starter; 01 motor com acionamento VSD (Drive). Grande parte dos motores em análise possuem acionamento via acionamento direto (DOL e Soft Starter). Desta forma, esses motores não possuem características especiais relacionadas ao tipo de acionamento.

3.3.2 Medição de Descargas Via Unidade de Medição SKF TKED 1

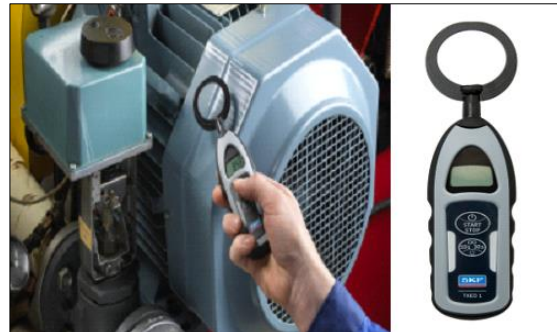
Foi realizada a inspeção *in loco* com a unidade de medição de descargas da SKF nas carcaças dos motores em análise. Na inspeção realizada não foi identificada presença de descargas de modo contínuo, porém foi observado que nos motores da posição 3024 – 21 – 11 – 0 – 30 – 08 e 3024 – 32 – 11 – 0 – 30 – 04 foi realizada adaptação de escova de aterramento. Foi verificado que esses motores apresentam rolamentos normais sem isolamento e não possuem tampa isolada. Foi relatado também que após instalação das escovas no eixo destes motores, houve eliminação dos níveis de descargas. Não foram verificadas descargas elétricas na base de tempo de 10 segundos, 30 segundos e ∞ (indefinida). Conforme as ações tomadas pela equipe de manutenção da fábrica, verifica-se que houve correção da ocorrência de descargas com a instalação de escova de aterramento de eixo em 02 posições.

3.3.2.1 Caneta Detector de Descarga Elétrica

A caneta detector de descarga elétrica (Caneta EDD, Figura 7) foi utilizada como um instrumento portátil de uso simples para detectar descargas elétricas em rolamentos de motores elétricos. Quando incorporada a um programa de manutenção preditiva, a Caneta EDD pode ajudar a detectar rolamentos mais suscetíveis a

falhas e impedir significativamente o tempo de inatividade não planejado da máquina.

Figura 7. Detector SKF TKED 1.



Fonte: Extraído de SKF, 2014.

3.3.3 Inspeção Visual dos Rolamentos

Após o corte dos rolamentos 6316/C3 do motor da posição 3024-21-11-0-30-08, verificou-se impressão visual característica de falha por passagem de corrente na pista externa (Figura 8A) e na pista interna (Figura 8B) do rolamento.

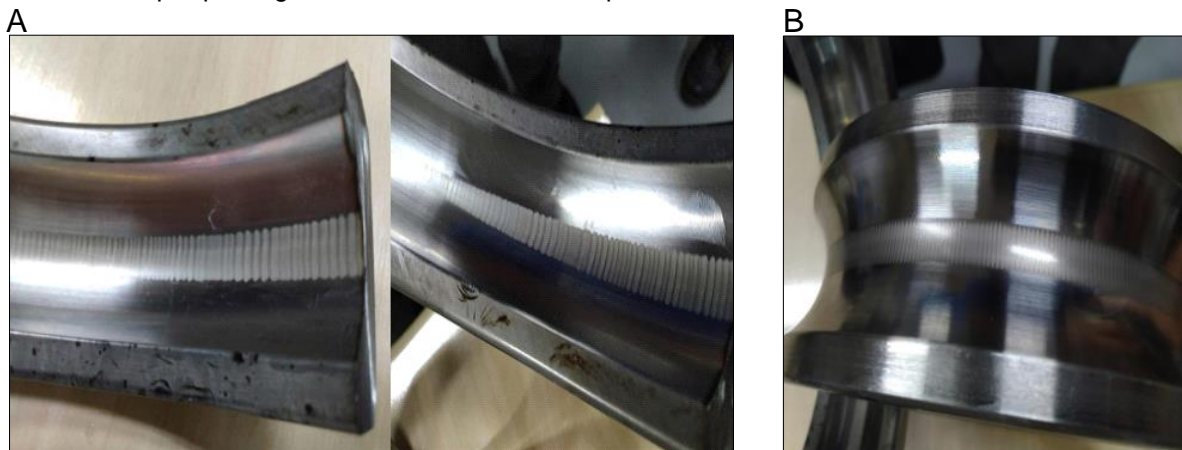
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseando-se na análise dos dados obtidos até o momento, e com o parecer técnico da empresa ABB, as seguintes conclusões e comentários puderam ser elaborados. (i) Temos a ocorrência de descargas elétricas com valores suficientes para causar falhas prematuras nos rolamentos. (ii) A posterior desmontagem dos motores das posições 3024 – 21 – 11 – 0 – 30 – 08 e 3024 – 32 – 11 – 0 – 30 – 04 comprovou tal hipótese, mostrando que o rolamento de fato apresentava sinais característicos de falha por passagem corrente elétrica. (iii) O monitoramento e análise de vibração realizado pela SKF evidencia maior ocorrência de defeito de pista externa BPFO. A detecção deste tipo de defeito na pista dos rolamentos poder ter como a origem descargas de origem elétrica nas pistas dos rolamentos. (iv) A montagem de uma escova de aterramento no eixo apresenta-se como uma boa solução para evitar a danificação dos rolamentos, ressaltando

que nessa condição, é necessário, a utilização de rolamentos isolados em um dos lados do motor. Isto eliminaria a circulação de corrente pelos rolamentos de maneira mais eficaz. (v) Para melhor análise do modo de falha crescente é necessário, na oportunidade de troca dos rolamentos

dos motores em análise, realizar a avaliação dos rolamentos de forma a identificar qual modo de falha presente. Este modo de falha está ocorrendo em posições onde o acionamento é via partida direta e via Soft Starter, em que normalmente este tipo de falha não é prevista.

Figura 8. Impressão visual característica de falha por passagem de corrente. (A) Marca característica de falha por passagem de corrente elétrica na pista externa do rolamento. (B) Marca característica de falha por passagem de corrente elétrica na pista interna do rolamento.



Fonte: Extraído de Gomes e Silva, 2020.

5 CONCLUSÕES

Conforme os pontos observados, a incidência maior de defeito está condicionada à falha de BPFO (pista externa), sendo está uma das consequências da ocorrência de descargas elétricas nos rolamentos dos motores. Esse modo de falha pode ser a causa principal da tendência crescente da falha de vibração nos motores da família ABB. O fato de o acionamento da maioria dos motores ser via partida direta (DOL) e *soft starter* sugere que a ocorrência das descargas pode estar relacionada a existência de alguma assimetria no acionamento dos motores (deficiência na blindagem dos cabos de alimentação, deficiência na malha de aterramento ou algum transiente na rede de alimentação dos motores). A existência de tensões de modo comum acima do permitido é comum em motores com acionamento via VSD (Drive). Determinar a origem das descargas requer maior intervalo de tempo e estudo, sendo mais

viável elaborar ações de forma a eliminar os efeitos destas descargas nos rolamentos.

REFERÊNCIAS

- ABB S.A. (ed.). ACS800: Manual de Hardware. Portugal: [s. n.], 2008. 166 p.
- ALMEIDA, W. P. de. Contribuições ao Estudo das Tensões de Eixo e Correntes de Modo Comum em Motores de Indução Acionados por Conversores PWM". Orientador: Prof. Dr. Hélder de Paula. 2011. 170 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- ARAÚJO, R. S. et al. Desgaste prematuro e falhas recorrentes dos rolamentos de um motor de indução trifásico: estudo de caso". VIII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Uberlândia, MG, 2010.

GRUPO WEG - UNIDADE MOTORES (Jaraguá do Sul). 22 maneiras de melhorar a eficiência do motor e prolongar sua vida útil. 4. ed. atual. [S. l.: s. n.], 2016.

HELWIG CARBON PRODUCTS. INC. (Milwaukee) (ed.). Application Brief: Bearing Protection Kits. [S. l.: s. n.], 2018. 2 p.

PEREIRA, J. Máquinas Assíncronas M3BP: L1 Relatório de Inspeção. Sorocaba - SP: DM MOTION, 2020. 12 p.

PINHEIRO, H. H. C. Sistema para

Detecção e Diagnóstico de Falhas em Motores Elétricos de Indução Utilizando Lógica Fuzzy. 2011. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) – UFRN, Natal, 2011.

SILVA, J. G. B. da. Aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA) no Diagnóstico de Defeitos em Rolamentos através da Assinatura Elétrica de Motores de Indução. 2008. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.