

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia – CCET
Departamento de Engenharia Elétrica – DEE

Matheus Gross

**Revisão da efetividade da análise de vibrações para diagnóstico
preditivo de falhas de equipamento em Indústria Química**



São Carlos
2022

Matheus Gross

Revisão da efetividade da análise de vibrações para diagnóstico preditivo de falhas de equipamento em Indústria Química

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de São Carlos, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Sidney Bruce Shiki

São Carlos

2022

Matheus Gross

Revisão da efetividade da análise de vibrações para diagnóstico preditivo de falhas de equipamento em Indústria Química/ Matheus Gross. – São Carlos, 2022-

73p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Sidney Bruce Shiki

Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia – CCET
Departamento de Engenharia Elétrica – DEE, 2022.

1. análise de vibrações. 2. manutenção preditiva. 2. diagnóstico de falha. I. Prof. Dr. Sidney Bruce Shiki. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Faculdade de Engenharia Elétrica. IV. Revisão da efetividade da análise de vibrações para diagnóstico preditivo de falhas de equipamento em Indústria Química



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - CCEE/CCET

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905

Telefone: (16) 33519701 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 10/2022/CCEE/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

MATHEUS GROSS

**REVISÃO DA EFETIVIDADE DA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES PARA DIAGNÓSTICO
PREDITIVO DE FALHAS DE EQUIPAMENTO EM INDÚSTRIA QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

São Carlos, 27 de setembro de 2022

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Sidney Bruce Shiki
Membro da Banca 1	Helder Vinicius Avanço Galeti
Membro da Banca 2	Vitor Ramos Franco



Documento assinado eletronicamente por **Sidney Bruce Shiki, Docente**, em 27/09/2022, às 16:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Helder Vinicius Avanço Galeti, Professor(a)**, em 27/09/2022, às 16:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vitor Ramos Franco, Docente**, em 27/09/2022, às 17:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **0829589** e o código CRC **CAFA629C**.



Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº
23112.033438/2022-26

SEI nº 0829589

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

Dedico à minha família, namorada e amigos que sempre me apoiaram nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Marcos e Marilza, minha irmã Milena e meus avós, que sempre me apoiaram em realizar a graduação em Engenharia Elétrica na UFSCar, me suportando e ajudando em todos os momentos durante a caminhada.

Agradeço aos amigos do AP-134 (Lucas, Gian, Tutu e Matheus), pela convivência diária, ajuda com as atividades da graduação e parceria pelo tempo em que estivemos morando juntos.

Agradeço aos colegas da turma 016 de Engenharia Elétrica (Fabrício, Thiago, Ygor, Leonardo, Gabriela, Pedro, Vinícius, Heitor), pelo suporte nas matérias, convivência nos trabalhos em grupo e parceria para a vida.

Agradeço a minha namorada Mariana, por todo o suporte e motivação para realização do Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradeço ao professor Sidney Bruce, por toda paciência e todo o suporte para o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço ao Departamento de Engenharia Elétrica, por todo os ensinamentos passados e papel na minha caminhada para tornar-me bacharel.

Também agradeço por todos que fizeram parte da minha caminhada durante a realização do curso, todos dos projetos de extensão (Operação Natal, EMPELTEC Jr, Projeto Pontinha).

*"Aquele que é feliz, espalha felicidade.;
Aquele que teima na infelicidade.;
que perde o equilíbrio e a confiança,
perde-se na vida."*

Anne Frank

RESUMO

Na indústria 4.0, é cada vez mais comum a presença de soluções tecnológicas para prever a falha de equipamentos. Dessa forma, a análise de vibrações é amplamente utilizada na área de manutenções preditivas, sendo possível diagnosticar falhas incipientes a partir da coleta local de vibrações de equipamentos durante sua operação. O presente estudo foi realizado em uma indústria química do interior de São Paulo, que possui uma rotina de coletas de vibração e análises, realizadas em rotas mensais por um técnico dedicado. Foram selecionados sete conjuntos de equipamentos (motovariadores, motoredutores e bombas) críticos para o processo em que estão, para a realização do estudo, que analisou o acompanhamento de vibrações, com os gráficos em velocidade RMS e diagnósticos constatados. Também foram realizadas comparações entre as manutenções efetuadas nos equipamentos escolhidos, contando desde falhas parciais a totais e os diagnósticos levantados a partir das análises e gráficos. Foi comprovada a efetividade da análise de vibrações quando realizada dentro do período ideal programado, podendo antecipar futuras falhas completas, e também foi possível comprovar como a falta do cumprimento das rotas nos tempos adequados impedem o diagnóstico precoce de falhas e paradas de área por quebra de equipamento.

Palavras-chave: análise de vibrações. manutenção preditiva. diagnóstico de falha.

ABSTRACT

In the 4.0 industry, it's common the presence of technological solutions to predict equipment failures. The vibration analysis is used in the predictive maintenance area, and can be applied to diagnose failures in the beginning with the vibration of equipment in operation. The present study was made in a chemical industry from the countryside of São Paulo State. It has a monthly collect of vibration from a dedicated technician. Seven equipment groups were selected (motoreductors, pumps and motovariators) considered to be critical for the process. For this study, the evolution of vibration RMS values were evaluated. Comparisons were performed between the maintenance made in the selected equipment, with the partial and total failures, and the diagnosis done by the graphs analysis. The possibility of anticipating failures ahead of time was observed when the vibration analysis was collected in the right period of time. It was also observed that the lack of measurement routes harnessed the premature diagnosis of failures and unplanned events for the productive areas.

Keywords: vibration analysis. predictive maintenance. failure diagnosis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipo de Manutenção	18
Figura 2 – Mandriladora de canhões de bronze	21
Figura 3 – Máquina à Vapor de James Watt	22
Figura 4 – Indicativo de Falha	25
Figura 5 – Curva da Banheira	26
Figura 6 – Classificação de Vibração da NBR 10082	27
Figura 7 – Representação de curva e seu valor RMS	27
Figura 8 – Transformada de Fourier	28
Figura 9 – Valor de vibração em Espectro de Frequência	29
Figura 10 – Coleta de vibração em um redutor com o acelerômetro SKF®	30
Figura 11 – Motoredutor A-1037	32
Figura 12 – Conjunto Redutor do Agitador A-1050	33
Figura 13 – Conjunto Bomba de Vácuo 1063	34
Figura 14 – Conjunto Motor e Bomba 1074	35
Figura 15 – Motoredutor do Agitador A-1019 e A-1022	37
Figura 16 – Conjunto Motor e Bomba 1404	38
Figura 17 – Conjunto Motor e Bomba 1302	38
Figura 18 – Gráfico de vibração RMS do Motor A-1037	41
Figura 19 – Gráfico de vibração RMS do Redutor A-1037	41
Figura 20 – Gráfico de vibração RMS do Motor A-1038	41
Figura 21 – Gráfico de vibração RMS do Redutor A-1038	42
Figura 22 – Gráfico de vibração RMS do Motor A-1050	43
Figura 23 – Gráfico de vibração RMS do Redutor A-1050	43
Figura 24 – Condições do acoplamento do motor com o redutor do R-1050	44
Figura 25 – Gráfico de vibração RMS do Motor P-1063A	45
Figura 26 – Gráfico de vibração RMS da Bomba P-1063A	46
Figura 27 – Gráfico de vibração RMS do Motor P-1063B	46
Figura 28 – Gráfico de vibração RMS da Bomba P-1063B	47
Figura 29 – Condições internas com desgaste da Bomba P-1063B	48
Figura 30 – Gráfico de vibração RMS do Motor P-1074	48
Figura 31 – Gráfico de vibração RMS da Bomba P-1074	49
Figura 32 – Gráfico de vibração RMS do Motor A-1019	49
Figura 33 – Gráfico de vibração RMS do Redutor A-1019	50
Figura 34 – Condições internas de estator, ponta do eixo e bobina do motoredutor A-1019	50
Figura 35 – Gráfico de vibração RMS do Motor A-1022	51
Figura 36 – Gráfico de vibração RMS do Redutor A-1022	51

Figura 37 – Gráfico de vibração RMS do Motor P-1404	52
Figura 38 – Gráfico de vibração RMS da Bomba P-1404	52
Figura 39 – Gráfico de vibração RMS do Motor P-1302	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de equipamentos segunda a ISO 10816-1	26
Tabela 2 – Dados do Acelerômetro	30
Tabela 3 – Dados Referentes ao Motoredutor A-1037 e A-1038	32
Tabela 4 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto do R-1050	33
Tabela 5 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto da P-1063A	34
Tabela 6 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto da P-1063B	35
Tabela 7 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto da P-1074	36
Tabela 8 – Dados Referentes aos Motovariadores do A-1019 e A-1022	36
Tabela 9 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto da P-1404	38
Tabela 10 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto da P-1302	39
Tabela 11 – Dados do Redutor do A-1038	59
Tabela 12 – Dados do Redutor do A-1037	60
Tabela 13 – Dados do Motor do A-1038	61
Tabela 14 – Dados do Motor do A-1037	62
Tabela 15 – Dados do Motor do A-1019	62
Tabela 16 – Dados do Motor do A-1022	62
Tabela 17 – Dados do Redutor do A-1019	63
Tabela 18 – Dados do Redutor do A-1022	63
Tabela 19 – Dados da Bomba da P-1074	63
Tabela 20 – Dados do Motor da P-1074	64
Tabela 21 – Dados da Bomba do P-1404	65
Tabela 22 – Dados do Motor da P-1404	66
Tabela 23 – Dados do Motor da P-1302	67
Tabela 24 – Dados da Bomba da P-1063B	68
Tabela 25 – Dados do Motor da P-1063B	69
Tabela 26 – Dados da Bomba da P-1063A	70
Tabela 27 – Dados do Motor da P-1063A	71
Tabela 28 – Dados do Motor do A-1050	72
Tabela 29 – Dados do Agitador do A-1050	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMAQ	Associação brasileira de máquinas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBM	<i>Condition Based Monitoring</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
TMPR	Tempo Médio Para Reparo
TOPT	<i>Total Operating Time</i>
TTR	Tempo Total em Reparo

LISTA DE SÍMBOLOS

n	Quantidade de eventos
T	Período
t	Tempo
v	Velocidade
V_{rms}	Velocidade eficaz

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivações	17
1.2	Objetivos	17
1.3	Manutenção na Indústria Química	18
1.4	Organização do Trabalho	19
2	REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	Histórico industrial de máquinas	20
2.2	Tipo de Falhas de Equipamentos Mecânicos	23
2.3	Categorização de máquinas	26
2.4	Métodos para análise de vibrações mecânicas	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Acelerômetro	30
3.2	Fluxo de dados	31
3.3	Equipamentos a serem monitorados	31
3.3.1	Motoredutores A-1037 e A-1038	31
3.3.2	Conjunto Redutor A-1050	32
3.3.3	Conjunto de Bomba de Vácuo P-1063 A e B	34
3.3.4	Conjunto Motor e Bomba 1074	35
3.3.5	Conjunto Motovariador A-1019 e A-1022	35
3.3.6	Bomba de vácuo P-1404	36
3.3.7	Bomba de vácuo P-1302	37
4	RESULTADOS	40
4.1	Motoredutores A-1037 e A-1038	40
4.2	Reator R-1050	42
4.3	Conjunto de Bomba de Vácuo P-1063 A e B	45
4.4	Conjunto Motor e Bomba 1074	48
4.5	Conjunto Motovariador A-1019 e A-1022	49
4.6	Bomba de vácuo P-1404	52
4.7	Bomba de vácuo P-1302	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	55
5.1	Trabalhos futuros	56

REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A – TABELAS DE COLETAS DE VIBRAÇÕES	59

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é realizada uma explicação sobre os fatores que motivaram este trabalho, os objetivos e um breve resumo sobre a visão e importância do mesmo.

1.1 Motivações

Quando o assunto são as indústrias do mundo, sabe-se que cada vez maior é a busca para o aumento da produtividade e lucratividade. Tendo como esses objetivos, a busca por uma maior confiabilidade dos ativos torna-se cada vez mais importante.

Confiabilidade é a capacidade de um dispositivo em cumprir suas funções mesmo em condições adversas (NEPOMUCENO, 2014), acaba sendo um complemento da probabilidade de falha e pode ser definida como a chance de ocorrência de um determinado evento de acordo com o planejado, a chance de que algo ocorra conforme o combinado previamente (CORSO et al., 2016). Relacionando com o ambiente industrial é a garantia de que uma indústria consegue entregar os seus produtos dentro dos prazos estabelecidos sem atrasos, falhas ou qualquer outra intercorrência que possa ocorrer no caminho entre a produção e a chegada do produto final ao consumidor. (MOURA; BOTTER; SILVA, 2010)

Caminhando para ter uma planta cada vez com uma confiabilidade maior, uma indústria do setor químico no interior de São Paulo tem seus investimentos voltados na análise de vibrações dos ativos, para a detecção prévia de falhas nos equipamentos ainda em seu estágio inicial, podendo realizar uma atuação preditiva e preventiva, antes da quebra do equipamento. Na planta da indústria química em que o estudo foi realizado, é utilizado um sistema de monitoramento de vibração *in loco*. O mesmo efetua medições periódicas com rotas mensais pré-definidas que garantem que todos os equipamentos rotativos da fábrica sejam inspecionados durante os intervalos corretos de inspeção.

1.2 Objetivos

O trabalho tem por objetivo geral realizar uma análise das coletas de dados *offline* de vibração medidas em um campo de equipamentos críticos ao processo, e entender a efetividade para identificar início de falhas nos equipamentos, levando a planta à um status de manutenção preditiva maior e confiabilidade. São ainda objetivos específicos do presente trabalho de conclusão:

- Levantar equipamentos críticos para o processo da unidade em que estão;
- Analisar o histórico de vibrações dos equipamentos em um período de 1 ano;

- Relacionar os diagnósticos de vibrações com o histórico de manutenção no período;
- Concluir sobre a efetividade da análise de vibração.

É esperado que ao fim do estudo, seja possível entender e comprovar a efetividade das intervenções realizadas, notando a variação positiva da saúde dos equipamentos, diminuindo os valores de vibração, eliminando quebras subsequentes.

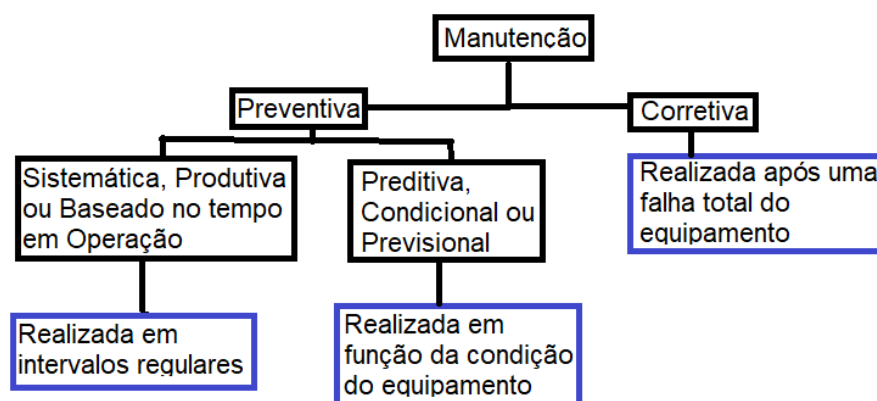
1.3 Manutenção na Indústria Química

Todo o estudo foi baseado na planta de uma indústria química, do ramo de silicones localizada no interior de São Paulo. A mesma é dividida em 10 áreas produtivas independentes, sendo que 9 operam por batelada e 1 em processo contínuo, produzindo cerca de 1,5 mil toneladas de produto por mês.

A cultura da empresa busca que a manutenção tenha uma migração de execução de ordens corretivas para intervenções preventivas, sendo essa última a chave para o sucesso de produção e confiabilidade. Sendo um caminho natural a se buscar contando que as manutenções corretivas acabam sendo as mais caras e imprevisíveis, fazendo com que ocorram paradas de áreas produtivas com eventos inesperados.

As manutenções podem dividir-se entre preventivas e corretivas. Explorando as preventivas, pode-se separar entre as sistemáticas e baseadas em tempo de operação do equipamento e as preditivas, que são o foco do trabalho e baseiam-se na condição do equipamento (monitoradas via análise de vibração, análise de óleo, ultrassom, entre outros métodos). As manutenções corretivas ocorrem após falhas que comprometem o funcionamento do equipamento (JUNIOR, 1994). Na Figura 1 é apresentado um fluxograma dos tipos de manutenção existentes e suas características principais.

Figura 1 – Tipo de Manutenção



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

O trabalho foca no monitoramento semanal de vibrações dos ativos rotativos, realizado por um técnico dedicado para a coleta. Serão analisados os valores de vibração coletados, recomendações de intervenção nos ativos e efetividade do equipamento no pós atuação. Será determinado o equipamento utilizado para a coleta dos dados, assim como o equipamento utilizado pelo time de manutenção para alinhamento à laser dos conjuntos.

A interface disponibilizada para análise é apresentada e detalhada no trabalho, sendo um sistema online que gerencia a condição de todos os ativos rotativos, rotas a serem realizadas no mês, cumprimento do monitoramento mensal, condição geral da planta com vibrações, entre outras informações.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho tem o Capítulo 2 com a Revisão Bibliográfica para apresentar a base histórica e teórica de manutenção e monitoramento de vibrações. O Capítulo 3 apresenta os Materiais e Métodos, com a interface utilizada, sensores, equipamentos críticos monitorados, assim como a definição para a criticidade deles. No Capítulo 4, são explorados os resultados das análises de vibração, intervenções executadas e resultados obtidos. O Capítulo 5 apresenta as conclusões finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo compõe a revisão bibliográfica, contendo a base teórica e conceitos para elaboração do trabalho, contendo o histórico geral de máquinas industriais, conceitos de manutenção, análise e coleta de vibrações mecânicas.

2.1 Histórico industrial de máquinas

Desde o início dos tempos, a humanidade busca formas de tornar o modo de executar as atividades diárias mais simples, rápidas e com menor esforço. Assim, desde o surgimento dos primeiros homens, existe a criação de equipamentos para execução das atividades (ABIMAQ, 2006).

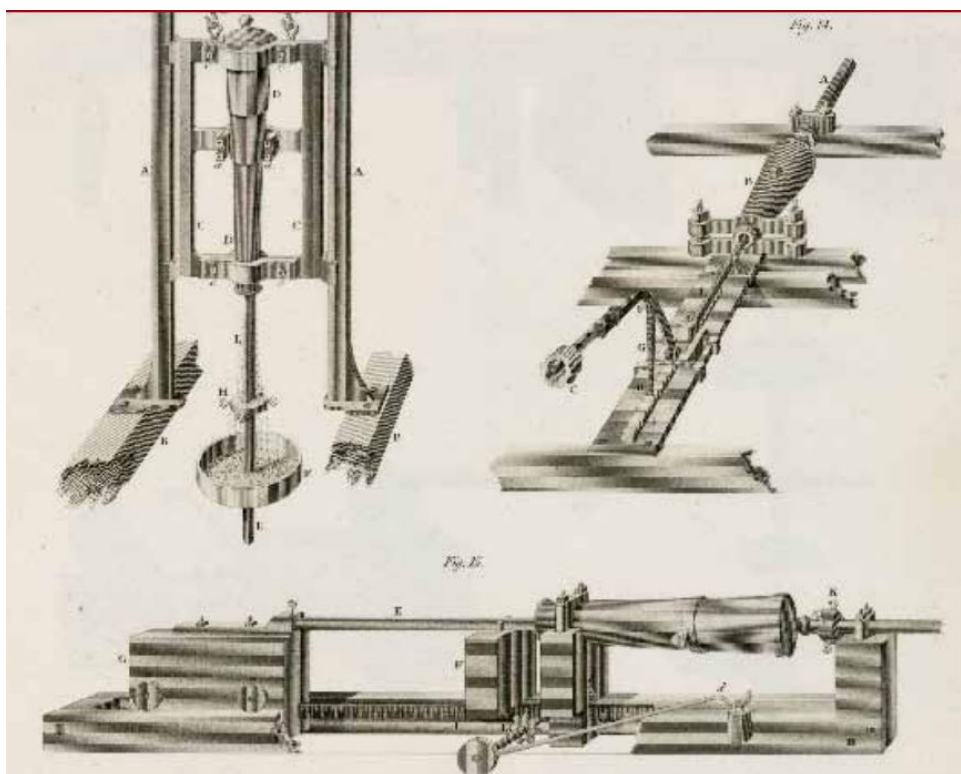
Pode-se definir máquina como um dispositivo que utiliza-se energia e trabalho para uma finalidade pré-estabelecida. Buscando uma definição física para a máquina, seria o dispositivo que altera o sentido ou a intensidade e uma força qualquer, sob a atuação de um trabalho. Pode-se considerar máquina-ferramenta “máquina estacionária, não portátil, acionada por uma fonte de energia externa – não humana nem animal – que modifica a forma de peças metálicas sólidas, ou de materiais alternativos com finalidades similares, por deformação plástica ou por corte de natureza mecânica, abrasiva, eletrofísica, eletroquímica ou fotônica, com decorrente remoção de massa” (ABIMAQ, 2006).

Sendo assim, a máquina mais antiga que se tem registros na história, é a mandriladora de canhões de bronze do século XVI. Essa máquina possuía um eixo giratório apoiado em um mancal de couro engastado num furo de uma grossa parede de pedra e lubrificado com gordura animal. Externamente, o eixo era acionado por meio de uma roda d’água, fonte de energia externa utilizada com frequência na época. A Figura 2 apresenta um diagrama esquemático desse sistema (ABIMAQ, 2006).

A máquina à vapor de James Watt, foi a grande responsável e impulsionadora da Primeira Revolução Industrial. Criada no século XVIII, tinha como ideia básica a utilização de carvão com brasa para aquecer uma quantidade de água transformando-a em vapor. A máquina então girava por causa da expansão e da contração do vapor dentro de um cilindro de metal onde havia um pistão. Ela foi tão importante que passou a movimentar navios, fábricas de teares, máquinas de usinagem, sendo amplamente utilizadas para diversas soluções indústrias, gerando um grande impulso industrial e civil para a humanidade. A Figura 3 apresenta um exemplo da máquina a vapor de Watt (ABIMAQ, 2006).

A Segunda Revolução Industrial aconteceu pelo fim do século XIX e início do século XX, sendo marcada pela troca da energia à vapor pela eletricidade através do motor elétrico, criado em 1866. Esse sistema foi criado por Werner Von Siemens por meio da invenção do

Figura 2 – Mandriladora de canhões de bronze



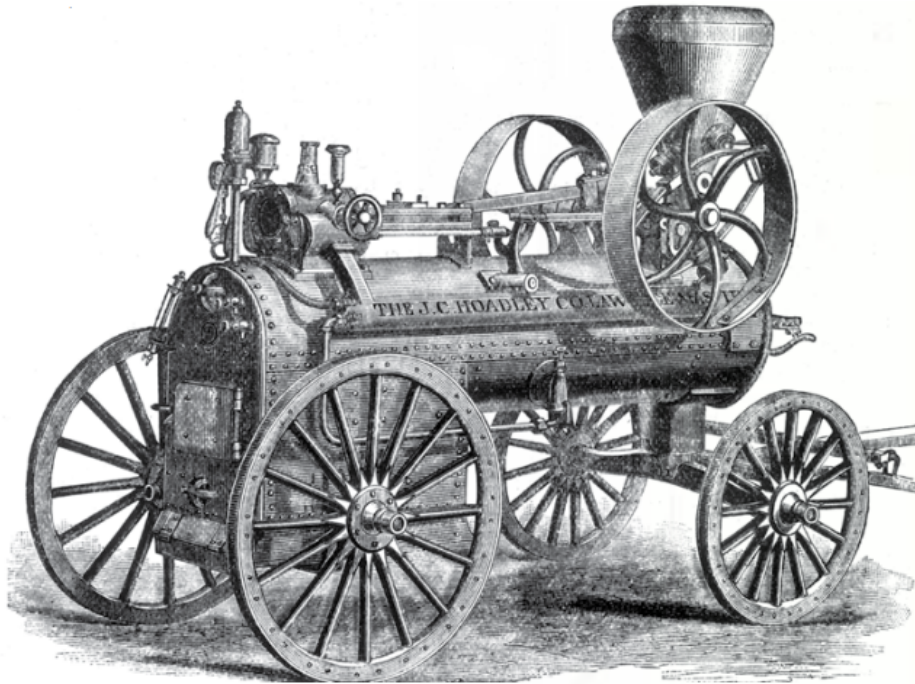
Fonte: (ABIMAQ, 2006)

dínamo, o primeiro gerador de corrente contínua. Em 1889, Dolivo-Dobrowolsky entrou para a história patenteando o primeiro motor trifásico com potência de 80 Watts. Com o motor de Dobrowolsky, as indústrias passaram a ter soluções, sendo o motor ideal acionamento de indústrias e oficinas. Tendo muitas vantagens para com o motor de corrente contínua, construção mais simples, silencioso, ótima partida, mais resistente, mais barato e exigia pouca manutenção (ABIMAQ, 2006) Essa revolução teve como características a produção em massa (linha de produção Ford), eletricidade e linhas de montagem. O progresso econômico foi baseado na melhoria do processo de trabalho pelas fontes de energia. No âmbito da educação, houve uma resposta direta à sociedade industrial, possuindo professores licenciados e o início da inserção de tecnologias à sala de aula. (SHAHBAKHS; EMAD; CAHOON, 2022)

Com a Terceira Revolução Industrial, ocorrendo após o fim da Segunda Guerra Mundial, ocorreram grandes avanços relacionados à eletrônica, informática, robótica e telecomunicações. A mecanização das linhas de produção passam muito pela parte eletrônica da computação, trazendo processadores cada vez mais poderosos, e menores em tamanho. A robótica também começou a ser implantada amplamente nas indústrias, como no exemplo dos manipuladores industriais, que tem a capacidade de movimento semelhante ao braço humano, sendo utilizado para soldagem, pintura, carregamento de máquinas, entre outras aplicações (ABIMAQ, 2006).

Pode-se considerar que estamos presenciando no início do Século XXI a Quarta Revolução Industrial e a transformação digital, que além de continuar a busca por maiores tecnologias

Figura 3 – Máquina à Vapor de James Watt



Fonte: (ABIMAQ, 2006)

(sendo caracterizada pela exploração de redes integradas de comunicação, integrando diversos equipamentos para obtenção de diversos dados instantaneamente e acessíveis de qualquer local), tendo o cuidado com a sustentabilidade ganhando atenção, sobre como podem-se contribuir com a economia sustentável, meio ambiente, e o desenvolvimento social (GHOBAKHLOO, 2020). Nesta revolução, a sustentabilidade tornou-se indispensável pelo fato de que os ecossistemas e qualidade de vida na Terra não pode ser mantida sem que se abrace a sustentabilidade. No ambiente da Indústria 4.0, os computadores são interconectados, e as máquinas que possuem uma comunicação integrada entre si, eventualmente realizando ações com um mínimo envolvimento humano. (GHOBAKHLOO, 2020)

Assim como a evolução das máquinas e meios de produção na história, a manutenção também teve suas evoluções de acordo com o passar do tempo, sempre visando dar uma maior confiabilidade para a produção. Pode-se separar a manutenção em três gerações durante a história (IMACHINE, 2020).

A primeira geração da manutenção industrial foi anterior à Segunda Guerra Mundial. Nessa época, os equipamentos utilizados nas indústrias eram mais simples e grandes, e os processos industriais eram lentos, possuindo muitas falhas não planejadas que geravam grandes perdas de produção. Nesse período, a manutenção era reativa, possuindo algumas preventivas para limpeza, porém na sua grande maioria sendo unicamente corretivas (IMACHINE, 2020).

A segunda geração da manutenção ocorre após a Segunda Guerra Mundial até a década de 1960 aproximadamente. Como trata-se de um período com grande demanda industrial,

foi necessária a implementação de estratégias de manutenção mais padronizadas e menos puramente reativas. Nesse período, surgiram as manutenções preventivas, que visavam a atuação no equipamento antes que a falha em si ocorresse. Porém, as paradas planejadas e trocas de peças que ainda não estavam em falha total apresentaram um encarecimento dos custos de manutenção (IMACHINE, 2020).

A terceira geração da manutenção tem início a partir da década de 1970, e foi a que trouxe a maior quantidade de mudanças para a indústria. A demanda das indústrias estava numa crescente e sendo implementados sistemas como o *just-in-time* (trazendo estoques de produtos mais reduzidos e aumentando a necessidade da eficiência na entrega dos produtos), assim como a necessidade da diminuição dos custos com manutenção. Assim, foi criada a manutenção preditiva, visando a análise da condição dos equipamentos antes da realização da troca pela preventiva, que só levava em conta o tempo de funcionamento (URBANIN, 2019).

2.2 Tipo de Falhas de Equipamentos Mecânicos

É importante, também, que seja definido e especificado os tipos de falhas que podem ocorrer em equipamentos rotativos e demais equipamentos (BALDISSARELI; FABRO, 2019):

- Falha gradual: é aquela que pode ser detectada no início e vai agravando-se com o tempo, sendo linearmente ou exponencialmente (ABNT, 1994);
- Falha parcial: determinada quando existe um dos fatores ou peça do equipamento não desempenham da forma especificada, porém no funcionamento macro, o equipamento ainda entrega um desempenho satisfatório (ABNT, 1994);
- Falha por defeito: conjunto de falhas parciais e graduais, que com o passar do tempo podem tornar-se completas (ABNT, 1994);
- Falha completa: é quando o equipamento deixa de entregar o desempenho desejado/requerido (ABNT, 1994).

As técnicas preditivas visam indicar a anormalidade no equipamento antes que se tenha uma falha maior, e se possa realizar a manutenção de correção. O acompanhamento e monitoramento preditivo dos ativos podem ser realizados de forma Subjetiva, Objetiva e Contínua (BALDISSARELI; FABRO, 2019).

A forma subjetiva baseia-se na sensibilidade do técnico responsável pelo equipamento, onde são notadas as diferenças de ruído emitido, diferenças de vibração notadas visualmente, ou mesmo utilizando sentidos como tato, olfato, entre outros para identificar a falha. Esse método é o mais suscetível à ineficiência e subjetividade, e como pode-se observar na Figura 1 ela é a que mais aproxima-se da Falha Funcional, distanciando-se das novas técnicas utilizadas na Indústria 4.0.

A forma objetiva baseia-se na coleta de dados do equipamento intervalados por certo período de tempo, utilizando instrumentos medidores de parâmetros. Posteriormente, esses dados coletados são tratados e comparados com as especificações de fabricação e seu histórico de funcionamento. Essa prática possibilita que sejam identificadas as falhas mais precocemente, porém ainda condicionada aos intervalos de medição realizados. Nesse sentido falhas súbitas são dificilmente detectadas por essa forma.

A forma contínua baseia-se na utilização de instrumentos de monitoramento, que coletam a informação 24 horas por dia de um equipamento, fazendo essa gestão *online* do ativo. São configurados limites de parâmetros, possibilitando uma ação imediata sempre que esse valor é atingido. Esse método se aproxima mais do conceito da Indústria 4.0, possibilitando uma atuação de manutenção muito precoce, aumentando o tempo médio entre falhas, do inglês, *Mean Time Between Failures* (MTBF) dando uma maior confiabilidade para a planta. É ideal para equipamentos mais críticos de um processo, em que a falha pode ocasionar em grandes perdas.

O *Condition Based Monitoring* (CBM) é um conceito amplamente utilizado para com foco em analisar a saúde dos ativos (URBANIN, 2019). O CBM pode ser implementado para garantir a integridade física dos equipamentos e manter as unidades com um alto nível de confiabilidade, visto que a deterioração dos ativos com o tempo é inevitável (WU; HUANG; SUTHERLAND, 2022).

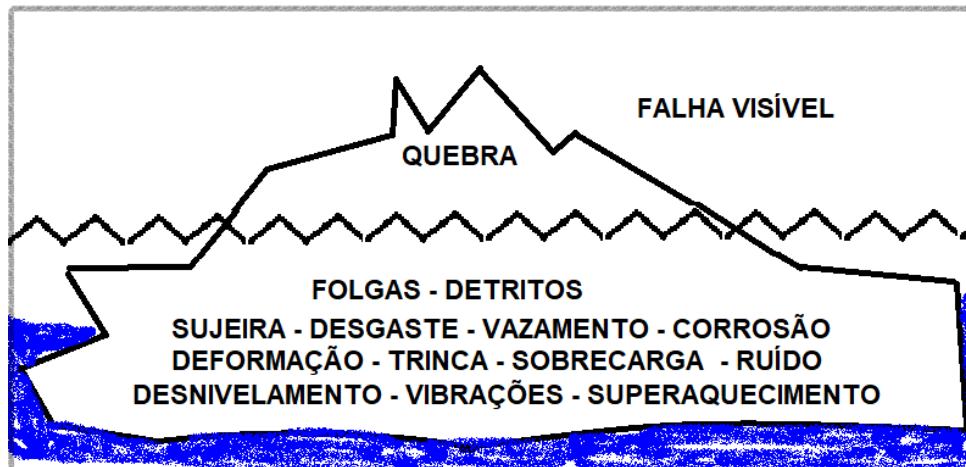
Os equipamentos rotativos possuem naturalmente vibrações mecânicas, que são respostas ao esforço de entrada causados pelo próprio funcionamento. Após um tempo em funcionamento, os equipamentos passam a apresentar desgastes naturais e peças, como rolamentos, mancais, entre outras começam a perder seu funcionamento ótimo gerando novos valores de vibração. Ocorrem-se mudanças na intensidade do nível global, em que se analisa a amplitude do sinal em função do tempo, representando as oscilações do equipamento, tendo importância para detectar tendências e alteração bruscas no estados dos ativos. Também notam-se mudanças na espectro de vibração do equipamento, que analisa os valores no domínio da frequência, pela Transformada rápida de Fourier. Os valores retirados de cada frequência podem indicar falhas em pontos específicos ou comprovar o bom funcionamento do ativo (URBANIN, 2019).

A Indústria 4.0 está cada vez mais presente nas discussões e implementações dos mais diversos tipos de indústrias no Brasil. A Figura 4 demonstra todas as ações anteriores que ocorrem antes que ocorra uma falha de equipamento. É interessante notar, que as formas como se realiza o monitoramento preditivo fazem com que as condições anteriores sejam detectadas com mais facilidade e precocemente (BALDISSARELI; FABRO, 2019).

Os indicadores de Manutenção possibilitam que seja analisado a eficiência da atuação do departamento de manutenção. Os indicadores buscam mostrar o quanto a área produtiva ficou disponível para produção, sem possuir falhas em equipamento que impossibilita-se a produção.

O primeiro é o tempo médio entre falhas (MTBF) onde é calculado basicamente a fração

Figura 4 – Indicativo de Falha



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

entre o tempo total de operação pelo número de falhas, como apresentado na Equação 1.

$$MTBF = \frac{TOPT}{n} \quad (1)$$

Em que *TOPT* vem do inglês *Total Operating Time*, Tempo Total em Operação. A variável *n* representa Quantidade de Falhas.

O *TMPR* (Tempo Médio Para Reparo) representado pela Equação 2, utiliza a razão entre o tempo total em reparo (desde a falha do equipamento, até o seu retorno em operação) e a quantidade de falhas.

$$TMPR = \frac{TTR}{n} \quad (2)$$

Em que *TTR* é o Tempo Total em Reparo.

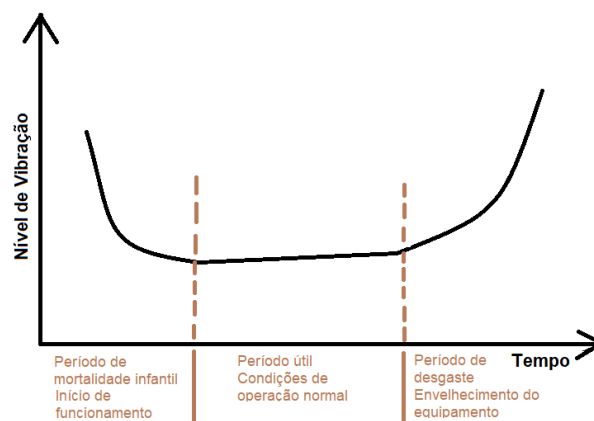
Por último, tem-se a disponibilidade, representada pela sigla *DISP*, que é calculada pela razão entre o tempo médio entre falhas pela soma entre ele mesmo e o tempo médio entre falhas, conforme apresentado na Equação 3. A disponibilidade em suma é a proporção de tempo em que um equipamento está com condições de realizar suas atividades pré-definidas e desejadas.

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF + TMPR} \quad (3)$$

A curva da banheira apresenta uma exemplificação da vida útil de um equipamento. No início das operações o equipamento apresenta maiores índices de vibração, considerado período de mortalidade infantil, onde o nível de vibração tende a descer rapidamente. O período intermediário apresenta a operação normal do equipamento, apresentando o período útil em que o nível de vibração aumenta vagarosamente devido a um desgaste natural. A última fase é o

período de desgaste, em que o equipamento já encontra-se envelhecido e o nível de vibração cresce rapidamente devido ao desgaste excessivo. Na Figura 5 é apresentada a curva da banheira.

Figura 5 – Curva da Banheira



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

2.3 Categorização de máquinas

No Brasil, existe a NBR (ABNT, 2011) que define valores limites para a vibração de equipamentos. Os limites são baseados na classificação de cada equipamento. A Tabela 1 é baseada na classificação de Classes para a ISO 10816-1 (ISO, 1995), e apresenta cada classe e equipamento e suas características básicas para definição. Já a Figura 6 foi retirada da NBR 10082 e apresenta os limites de vibração para os equipamentos até a Classe IV.

Tabela 1 – Classes de equipamentos segunda a ISO 10816-1

Tipo de Classe	Características
Classe I	Partes individuais de máquinas e motores, conectados integralmente a máquina operando em condição normal, motores elétricos até 15 kW.
Classe II	Máquina de médio porte, 15 kW à 75 kW, fixada em fundação simples. motores rigidamente montados ou máquinas até 300 kW em fundação especial.
Classe III	Máquina de grande porte, acima de 300 kW. Instaladas em bases rígidas.
Classe IV	Máquina de grande porte, acima de 300 kW. Instaladas em bases flexíveis.
Classe V	Máquinas e sistemas mecânicos com força de inércia onde não há balanço, montados em fundação rígida.
Classe VI	Máquinas e sistemas mecânicos com força de inércia onde não há balanço, montados em fundação flexível.

Fonte: (ISO, 1995)

Em relação à normas internacionais, também existe a ISO 7919, que define os níveis globais de vibração para máquinas rotativas com velocidade entre 60 a 1800 rpm e tem como critério de severidade de vibração a amplitude do deslocamento do eixo e mancal (ISO, 2009).

Figura 6 – Classificação de Vibração da NBR 10082

FAIXAS DE SEVERIDADE DE VIBRAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS			
VALOR RMS DA VELOCIDADE DE VIBRAÇÃO (mm/s)		CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV
0,28		A	A	A	A
0,45		A	A	A	A
0,71		A	A	A	A
1,12		B	A	A	A
1,8		B	B	A	A
2,8		C	B	B	A
4,5		C	C	B	B
7,1		D	C	C	B
11,2		D	D	C	C
18		D	D	D	C
28		D	D	D	D
45		D	D	D	D
71		D	D	D	D

Fonte: (ABNT, 2011)

2.4 Métodos para análise de vibrações mecânicas

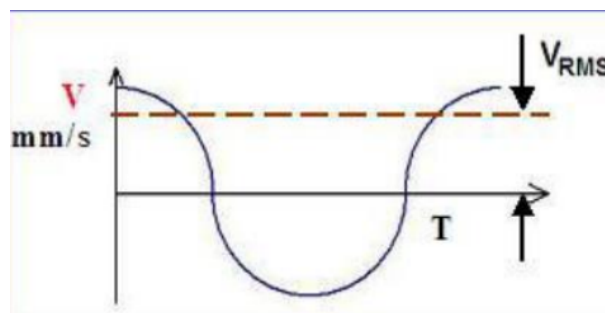
As vibrações são coletadas baseados nos eixos X, Y e Z do equipamento. A coleta de dados do equipamentos é realizada via um acelerômetro que mede diversas variáveis do nível de vibração, que após análise pode ser convertida em velocidade no seu valor eficaz RMS (*Root Mean Square*), sendo uma convenção utilizada para simplificar as análises e facilitar comparações. A Equação 4 apresenta o cálculo para obter-se o valor RMS da velocidade.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (4)$$

Na Equação 4, T representa o período, t o tempo, dt a derivada em função do tempo e v a velocidade.

Na Figura 7 é apresentado um exemplo de uma curva de medição da velocidade e seu valor em RMS após aplicação da Equação 4.

Figura 7 – Representação de curva e seu valor RMS

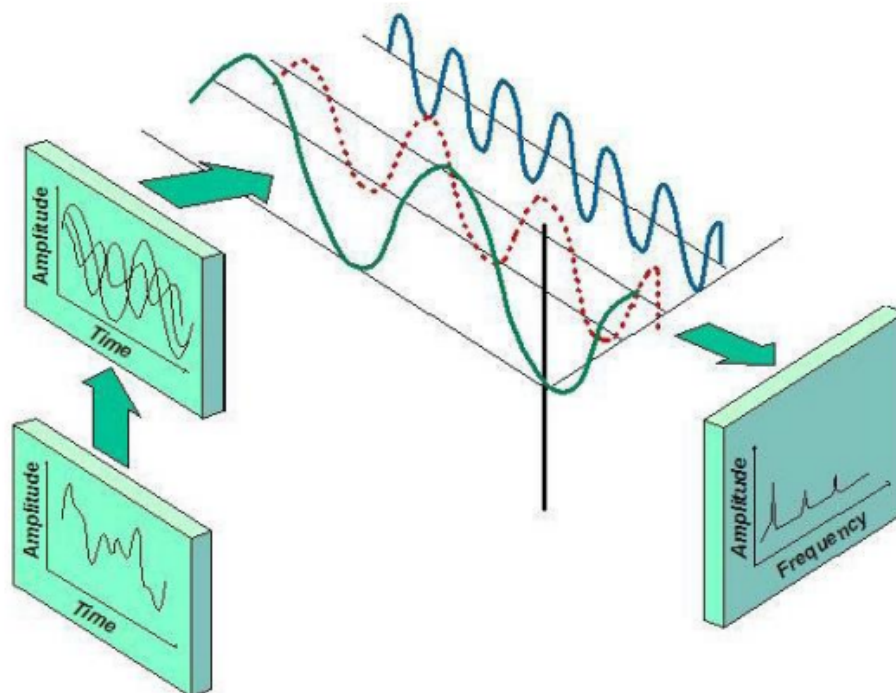


Fonte: (ABRAMAN, 2010)

Uma função pode ser considerada a soma de diversas outras funções senoidais com frequências distintas. Esse resultado pode ser obtido a partir da transformada de Fourier. Essa técnica pode ser usada para representar o espectro em frequência de um sinal, o qual exibe os componentes de frequência de uma determinada série temporal.

A partir da transformada de Fourier, é possível discretizar o gráfico da amplitude de vibração em função de tempo e transformá-lo em função da frequência. Com o resultado obtido, é possível identificar diversas avarias nos equipamentos, podendo gerar diagnósticos de falhas em rolamentos, desalinhamento de conjunto, avarias no dimensional da caixa e eixo, parafusos mal apertados, entre outros. A Figura 8 apresenta um exemplo resumido da aplicação do algoritmo FFT, do inglês, *Fast Fourier Transform*, e em português, Transformada Rápida de Fourier, em um gráfico inicialmente no domínio do tempo.

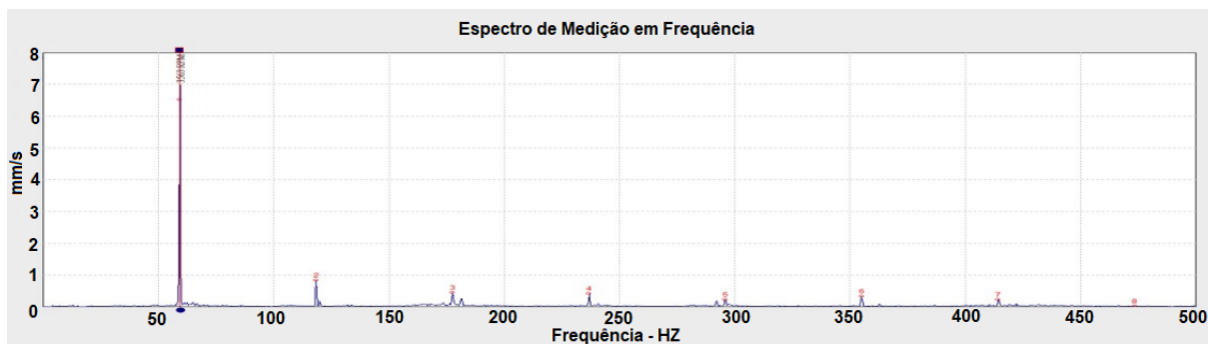
Figura 8 – Transformada de Fourier



Fonte: (ABRAMAN, 2010)

O resultado do gráfico mostra a amplitude de vibração pico a pico do ativo, em função das diversas frequências, desde as mais baixas e altas frequência. A Figura 9 demonstra os dados de uma medição de vibrações em seu espectro de frequência, podendo-se observar a variação do valor em cada harmônico.

Figura 9 – Valor de vibração em Espectro de Frequência



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Acelerômetro

Nas coletas de vibração dos equipamentos, é utilizado o acelerômetro da SKF®, modelo de acelerômetro portátil CMSS 793L. A Tabela 2 apresenta as especificações técnicas do equipamento em questão.

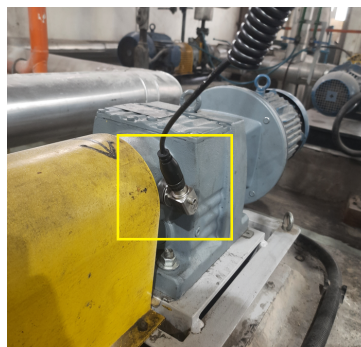
Tabela 2 – Dados do Acelerômetro

Nome	SKF®- CMSS 793
Dimensões	61,0 mm X 25,4 mm X 25,4 mm
Sensibilidade	100 mV/g
Precisão da Sensibilidade	± 5% à 25 °C
Range de Aceleração	80 g pico
Amplitude Não Linear	1%
Range de Frequência	± 5%: 1,5 até 5000 Hz ± 10%: 1,0 até 7000 Hz ± 3dB: 0,5 até 15000 Hz
Frequência de Ressonância Nominal	25 kHz
Sensibilidade Transversal	≤ 5% da axial

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Os dados são coletados por meio de rotas pré-definidas que são executadas mensalmente por um técnico dedicado, retirando as medições enquanto os ativos estão em operação. O sensor CMSS 793 é acoplado magneticamente nos equipamentos em pontos pré determinados, que são específicos de cada item, entre os pontos tem-se mancais verticais, mancais horizontais, axiais. A medição em cada ponto leva poucos segundos e gera resultados imediatos, que são carregados no sistema pós medições. A Figura 10 apresenta o acelerômetro acoplado magneticamente em um redutor durante uma coleta.

Figura 10 – Coleta de vibração em um redutor com o acelerômetro SKF®



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

3.2 Fluxo de dados

Os dados são coletados por meio de um técnico dedicado, que vai à empresa uma vez na semana. O acelerômetro registra todos os dados coletados em um computador. Esses dados são enviados e arquivados no sistema de análise da empresa especializada em análise de vibração dos equipamentos e torna os dados acessíveis por meio de plataforma própria.

3.3 Equipamentos a serem monitorados

Para o estudo, foram selecionados equipamentos críticos das unidades produtivas em que operam, fazendo com que qualquer falha que ocorra neles cause uma interrupção na produção. Todos são equipamentos rotativos, e variam entre motoredutores (conjuntos que combinam motores e redutores, como sugere o nome), motovariadores (conjuntos que combinam motores e redutores, controle de velocidade de rotação da unidade), conjunto de bombas (compostos por bomba e motor), variando desde bombas centrífugas à bombas de vácuos. Segue a lista de equipamentos analisados no estudo:

- Motoredutores A-1037 e A-1038
- Conjunto Redutor A-1050
- Conjunto de Bomba de Vácuo P-1063 A e B
- Conjunto Motor e Bomba 1074
- Conjunto Motovariador A-1019 e A-1022
- Bomba de vácuo P-1404
- Bomba de vácuo P-1302

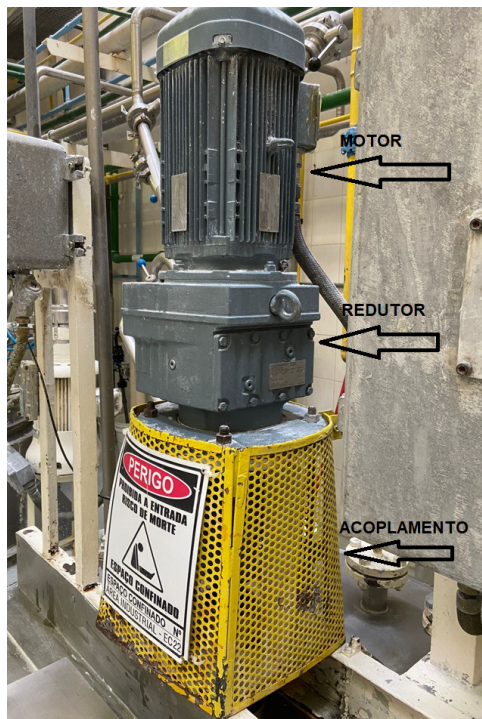
3.3.1 Motoredutores A-1037 e A-1038

Na unidade em que estão os motoredutores A-1037 e A-1038, são realizadas emulsões industriais de grau GMP *Good Manufacturer Practices* (que são boas práticas de higiene e produção, possuindo alto grau e higienização e cuidados especiais). Na unidade, são manufaturados produtos fornecidos para indústria alimentícia, possuindo controle de acesso, EPIs diferenciados (sapato branco, touca, avental), limpeza adicional antes de produção e temperatura controlada. Na produção, são utilizados dois tanques, que são compostos internamente com um eixo e conjunto de pás agitadoras.

Os motoredutores tem participação crucial no processo, pois ambos os tanques são necessários para a produção e que qualquer falha nesse equipamento gera a impossibilidade total da agitação nos tanques, ou a de controlar e atingir velocidades de agitação mais elevadas

necessárias para a produção. Na Figura 11 é apresentado o modelo dos motoredutores utilizados em ambos os tanques (T-1037 e T-1038) que são "espelhados" um em relação ao outro.

Figura 11 – Motoredutor A-1037



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Na Tabela 3 são apresentados os valores técnicos referentes aos motoredutores. Ambos já são fornecidos junto com o motor do mesmo fabricante do do redutor, sendo a SEW no caso estudado. Eles foram classificados na Classe I devido à sua potência de 10 Cavalos.

Tabela 3 – Dados Referentes ao Motoredutor A-1037 e A-1038

Equipamento	Motoredutor SEW
Motor	DRN132SP4
Potência	10 CV / 7,5 kW
Rotação	1760 RPM
Tensão	440 V
Classificação ABNT	Classe I

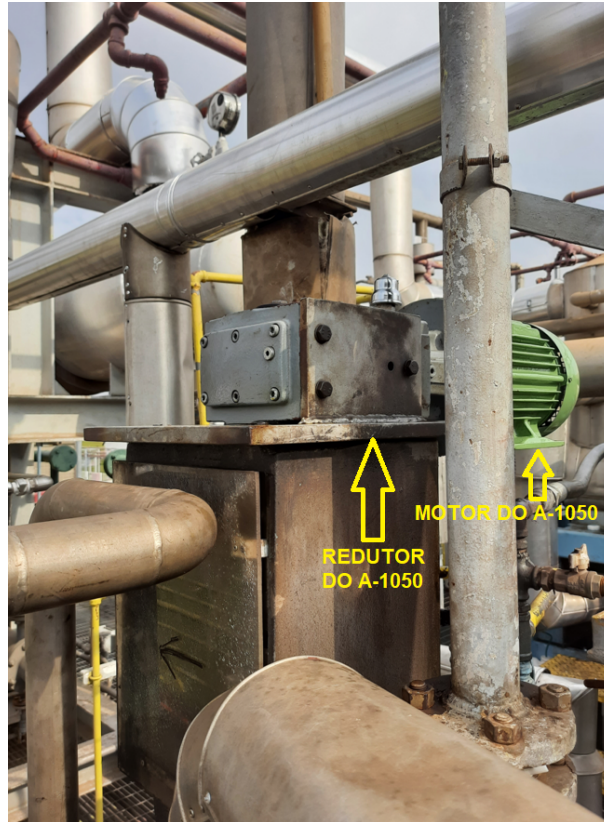
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

3.3.2 Conjunto Redutor A-1050

O conjunto de Agitação do Reator de processo R-1050 está localizado na unidade produtiva de polimerização da matéria prima do silicone, produzindo anti-espumantes para a indústria petrolífera e matéria-prima para selantes. A unidade opera de forma contínua com fases que chegam à temperatura de aproximadamente 350°C. A falha no Agitador 1050 causa a

interrupção da produção em pelo menos dois dias (1 dia para realizar a rampa de resfriamento da unidade e 1 dia para a rampa de aquecimento), mais os dias necessários para manutenção do equipamento. Sendo assim, é bastante "Crítico" para a planta. Na Figura 12 é apresentado o conjunto do Reator.

Figura 12 – Conjunto Redutor do Agitador A-1050



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

O Motor é acoplado no redutor, que por sua vez é integrado ao eixo girante do reator. O motor utilizado na linha é da fabricante WEG, de 7,5 cavalos e opera à uma rotação de 3495 rotações por minuto. As medições mensais da vibração são coletadas no motor e no redutor. Na tabela 4 são apresentados os dados técnicos do motor do A-1050.

Tabela 4 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto do R-1050

Equipamento	Motor WEG
Potência	7,5 CV / 5,5 kW
Rotação	3495 RPM
Tensão	440 V
Classificação ABNT	Classe I

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

3.3.3 Conjunto de Bomba de Vácuo P-1063 A e B

Dentro do processo contínuo de polimerização, as bombas de vácuo produzem pressão negativa para o processo, sendo utilizada para retirar o volátil gerado. As bomba A e B são backups uma da outra, sendo necessária só uma funcionando para gerar o vácuo suficiente à produção. Porém, a falta de vácuo causa a parada da área, gerando pelo menos 2 dias de paralisação.

Baseado nessas informações, apesar de existirem duas bomba no sistema de principal e reserva, o monitoramento de saúde desse ativo é extremamente crítico. Na Figura 13 é apresentado o conjunto das bombas de vácuo, dando ênfase na bomba, acoplamento e motor.

Figura 13 – Conjunto Bomba de Vácuo 1063



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Os motores acoplados nas bombas de vácuo são diferentes, porém são da mesma classe e possuem mesma tensão, diferenciando apenas na potência em 1,2 CV e na rotação, em 15 rpms. Tais diferenças não causam alterações no desempenho das bombas. Pode-se observar na Tabela 5 os dados referentes à bomba A, e na Tabela 6 os dados do motor SIEMENS referente à bomba B, que são enquadrados na Classe I, pela potência que é abaixo de 15kW (8,3 e 9,2 respectivamente).

Tabela 5 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto da P-1063A

Equipamento	Motor WEG
Potência	11,3 CV / 8,3 kW
Rotação	1755 RPM
Tensão	440 V
Classificação ABNT	Classe I

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 6 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto da P-1063B

Equipamento	Motor SIEMENS
Potência	12,5 CV / 9,2 kW
Rotação	1770 RPM
Tensão	440 V
Classificação ABNT	Classe I

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

3.3.4 Conjunto Motor e Bomba 1074

O tanque T-1074 é responsável pela produção de anti-espumantes para a indústria petrolífera. A unidade onde ele está localizado opera via batelada, e é a bomba principal para o processo, que ocorre dentro do tanque por meio da agitação da matérias primas, com a ajuda de um conjunto de agitadores, como vemos com mais detalhes em outros equipamentos desse estudo. Esse sistema é classificado como extremamente "Crítico" para a planta, devido a grande produção e carregamento direto de tudo produzido no carregamento dos caminhões. Na Figura 14 é apresentado o conjunto de motor e bomba 1074.

Figura 14 – Conjunto Motor e Bomba 1074



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

O bom funcionamento do motor é crucial para evitar vazamentos na bomba ou qualquer outro tipo de parada não planejada e espera para manutenção. Na Tabela 7 são apresentados dados do motor acoplado com a bomba P-1074, que é enquadrado como um classe II, pois a potência chega à 20 CV, com uma rotação elevada de 3565 rpms.

3.3.5 Conjunto Motovariador A-1019 e A-1022

Os conjunto dos motovariadores VARIMOT A-1019 e A-1022 são equipamentos rotativos, que funcionam como agitadores para os tanques T-1019 e T-1022, para uma unidade produtiva que produz emulsões industriais para a indústria de cosméticos. Os tanques possuem

Tabela 7 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto da P-1074

Equipamento	Motor SIEMENS
Potência	20 CV / 15 kW
Rotação	3565 RPM
Tensão	440 V
Classificação ABNT	Classe II

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

seu conjunto de pás acopladas ao eixo, com inclinação calculada, para que seja gerada a agitação necessária para a produção. Os tanques agitadores são amplamente utilizados em indústrias químicas, atuando na agitação e mistura das substâncias através da velocidade e tempo correto de agitação, sendo muito importante nos processos de emulsões industriais principalmente.

Esses equipamentos acabam sendo classificados como "Críticos" visto que todos os produtos da unidade produtiva dependem da agitação dos tanques, assim qualquer falha que inutilize o conjunto, causa a parada total da área até que se realize a manutenção. Na Figura 15 são apresentadas fotos dos conjuntos do A-1019 (esquerda) e do A-1022 (direita), além de conter uma exemplificação interna de um tanque agitador.

Os motovariadores A-1019 e A-1022 encaixam-se na Classe II pela classificação ABNT devido à sua potência de 30 Cavalos. Na Tabela 8 são apresentados os dados técnicos dos equipamentos

Tabela 8 – Dados Referentes aos Motovariadores do A-1019 e A-1022

Equipamento	Motor WEG
Potência	30 CV / 22 kW
Rotação	1765 RPM
Tensão	440 V
Classificação ABNT	Classe II

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

3.3.6 Bomba de vácuo P-1404

No processo de emulsões, a unidade da PILAT (área leva o nome de sua máquina principal, que realiza o processo de agitação dentro do tacho) utiliza a agitação do produto em tachos, sendo que a máquina do processo utiliza um dispersor central (com controle de velocidade) e um raspador nas laterais do tacho, que acabam em conjunto as condições de agitação e fluxo essenciais para a produção. A bomba de vácuo P-1404 faz papel crucial no processo, pois ela cria o vácuo entre o tacho e a campânula, que cria a atmosfera necessária para a produção. Se a bomba sofre uma falha, o processo é interrompido imediatamente. Na planta, existem duas bombas de vácuo que funcionam em um sistema de Back-up entre elas, entretanto,

Figura 15 – Motoredutor do Agitador A-1019 e A-1022



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

quando uma entre em falha total é tido como prioridade altíssima o reparo e retorno da mesma. Na Figura 16 é apresentada a bomba de vácuo P-1404.

A bomba de vácuo possui o motor já acoplado, sendo ele do fabricante da bomba, a DVP. Na Tabela 9 são apresentados os dados do motor das bomba de vácuo, que é classificada como classe I, possuindo uma potência relativamente baixa comparada aos outros equipamentos do estudo, com 5 cavalos.

3.3.7 Bomba de vácuo P-1302

Na produção de silicones como selantes, também tem-se o processo de agitação de matéria prima em tacho, onde a máquina é composta por dois dispersores e um raspador. Durante o processo, é gerado vácuo no interior do tacho e da campânula, que é essencial para que seja

Figura 16 – Conjunto Motor e Bomba 1404



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 9 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto da P-1404

Equipamento	Motor DVP
Potência	5 CV / 3,7 kW
Rotação	1700 RPM
Tensão	440 V
Classificação ABNT	Classe I

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

feita a produção do selante adequadamente. Sendo assim, qualquer falha na bomba de vácuo, seja ela total ou apenas uma perda na pressão negativa gerada, é substituída a bomba utilizada no processo e coloca-se a bomba reserva em operação. Na Figura 17 é apresentado o conjunto da bomba de vácuo P-1302.

Figura 17 – Conjunto Motor e Bomba 1302



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

O motor da bomba de vácuo tem função extremamente crucial para o bom funcionamento da bomba e da geração de vácuo no processo. Na Tabela 10 são apresentados os dados do motor

da P-1302.

Tabela 10 – Dados Referentes ao Motor do Conjunto da P-1302

Equipamento	Motor DVP
Potência	5 CV / 3,7 kW
Rotação	1700 RPM
Tensão	440 V
Classificação ABNT	Classe I

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

4 RESULTADOS

No presente capítulo são analisados e comparados os valores de vibração em RMS com as atuações realizadas pelo time de manutenção e falhas apresentadas pelos equipamentos analisados. A investigação dos mesmos é considerada em um período de Junho de 2021 à Junho de 2022.

Nas Figuras utilizadas nesse capítulo, é possível observar nos gráficos, linhas com cores diferentes, cada uma representando um local de coleta de vibração do equipamento. Em cada equipamento são coletadas as vibrações em pontos estratégicos:

- Motor: Mancal LA Horizontal, Mancal LOA Horizontal, Mancal LOA Vertical , Mancal LOA Axial.
- Redutor: Eixos de Entrada, Eixos Intermediários, Eixos de Saída.
- Bomba: Mancal LA Horizontal, Mancal LA Vertical, Mancal LA Axial , Mancal LOA Horizontal.

Para a análise neste trabalho, será considerada em geral a linha apresentando maior velocidade de vibração, com exceção de alguns casos particulares.

Todas as figuras possuem duas linhas verticais fixas para efeito de comparação dos resultados. A linha amarela representa o limite de alerta, sendo o primeiro indicador de que o equipamento está com vibrações além dos limites desejados. A linha vermelha representa o limite de alarme, indicando que o equipamento em análise excedeu em muito os valores considerados ideais de funcionamento, já apresentando sinais de avarias. Os valores de limites são referenciados da Figura 6, com adaptações referente ao histórico de anos de cada equipamento.

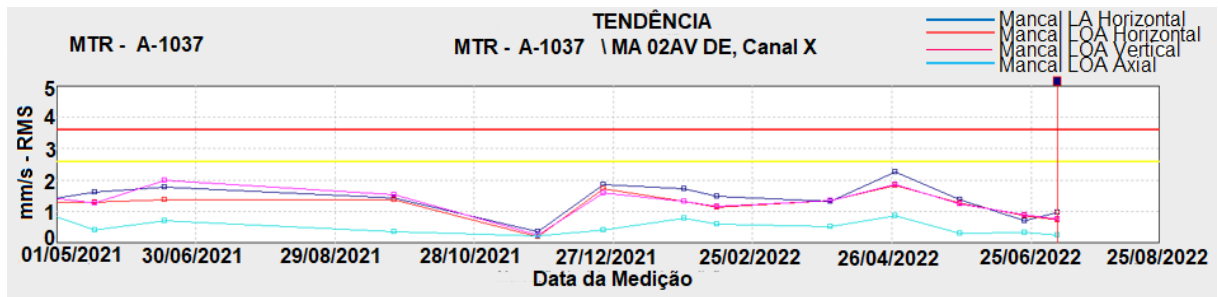
Na seção A tem-se todas as tabelas referentes às medições nos equipamentos e os comentários realizados após cada coleta.

4.1 Motoredutores A-1037 e A-1038

Durante o período em que foram realizadas as coletas de sinais de vibração do motoredutor A-1037, foram realizadas cerca de 11 medições. Pode-se observar nas Figuras 18 e 19 os gráficos de velocidade em RMS do motor e redutor respectivamente.

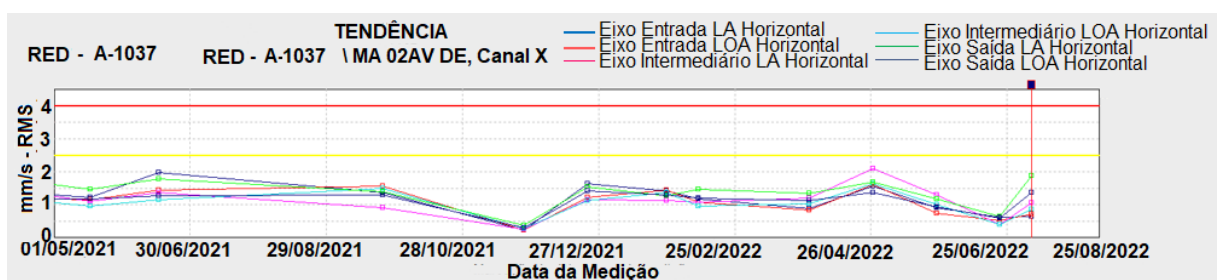
Nota-se que em todas as medições realizadas os índices vibracionais mantiveram sempre abaixo da linha de alerta para o equipamento, sendo de 2,5 mm/s para ambos os casos (motor e bomba). No mês de Abril de 2022 foi quando o conjunto apresentou medições mais elevadas,

Figura 18 – Gráfico de vibração RMS do Motor A-1037



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 19 – Gráfico de vibração RMS do Redutor A-1037



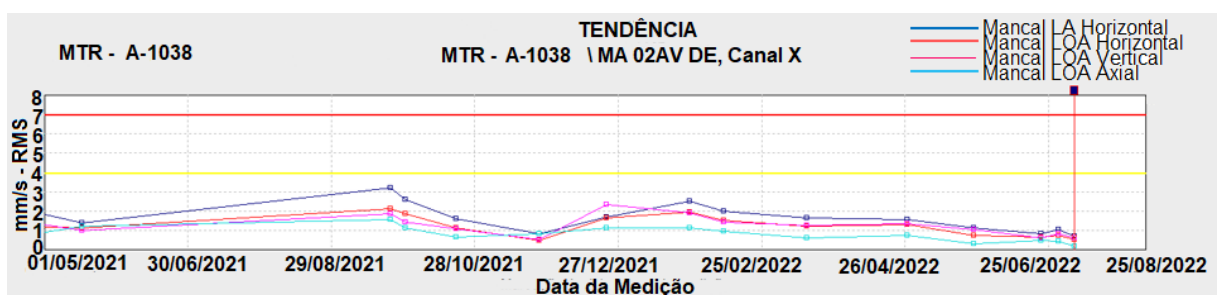
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

mas que não foram suficiente para a geração de um alerta e logo na medição realizada no mês seguinte (Maio de 2022) o sistema já apresentou redução do nível global de vibração.

Durante o mesmo período de análise, o motoredutor A-1037 não apresentou nenhuma falha de funcionamento e manteve-se todo o tempo em operação. Em Maio de 2022 foi realizada a troca de óleo do conjunto, durante a parada de manutenção da unidade em que ele opera, comportando-se coerentemente com as análises realizadas pelas coletas vibracionais.

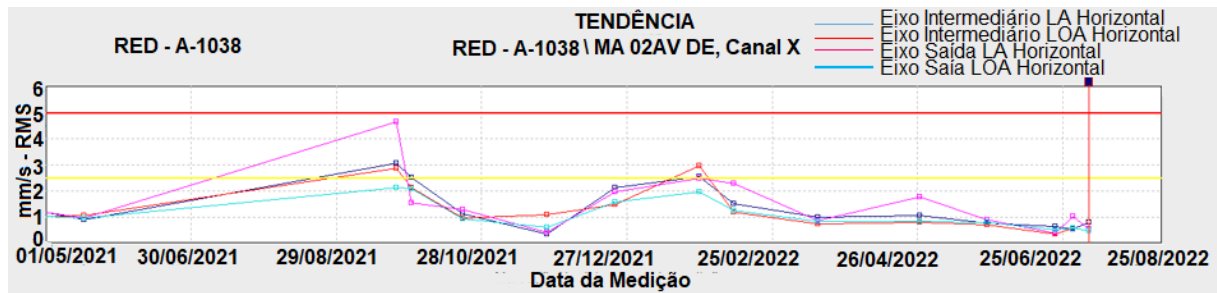
Já no conjunto espelhado do A-1038, no período de tempo selecionado para o acompanhamento do estudo foram realizadas 12 medições no motor e redutor do conjunto. Nas Figuras 20 e 21 são apresentados os gráficos de velocidade em RMS do motor e redutor respectivamente.

Figura 20 – Gráfico de vibração RMS do Motor A-1038



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 21 – Gráfico de vibração RMS do Redutor A-1038



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Nota-se que analisando-se a curva referente ao motor (Figura 20), em nenhuma medição a linha de alerta é ultrapassada (4 mm/s), mantendo sempre o equipamento com o status de normalidade, sem diagnóstico de atuação necessária.

Já o redutor do equipamento A-1038, tem a primeira medição em Setembro de 2021 em que a linha amarela de alerta (2,5 mm/s) é ultrapassada, chegando próximo até de ultrapassar a linha vermelha de alarme (5 mm/s). Assim é elaborado o diagnóstico de níveis de vibração em evolução exponencial, apresentando características de desgaste dos componentes internos do redutor. Nas medições seguintes, obteve-se uma redução nos índices vibracionais, porém o diagnóstico foi mantido o mesmo. Em Fevereiro de 2022, o redutor voltou a apresentar valores superiores à linha de alerta, que voltaram a apresentar pequena redução nas medições seguintes. Ainda assim o diagnóstico não sofreu alteração. Em Maio de 2022, os parâmetros sofreram uma abrupta diminuição, e o diagnóstico do equipamento foi alterado para condições normais de operação, saindo do alerta que apresentava à alguns meses.

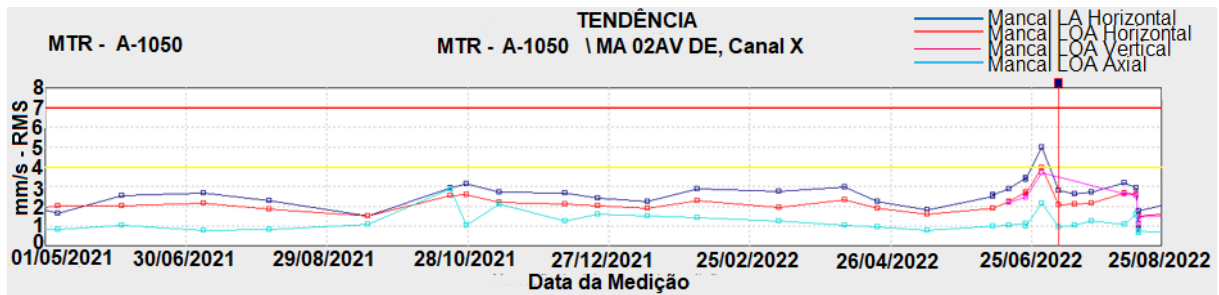
Comparando o período de análise de vibração com as atividades de manutenção executadas. A partir do momento em que foi notificada a vibração anormal no equipamento foi elaborado um plano de ação. Imediatamente, completou-se o nível de óleo do redutor para garantir que a vibração anormal não era proveniente da falta de lubrificante. Não havendo diminuição nos espectros vibracionais, foi planejada a compra de um novo conjunto de motoredutor para o agitador A-1038. Na parada de manutenção de área no mês de Maio de 2022, foi realizada a substituição por completo do equipamento, tendo seu acompanhamento pré-partida com sucesso e eliminando os gaps e alarme. Sendo assim, avalia-se que o monitoramento do nível de vibração foi fundamental, possibilitando a intervenção precoce antes ocorrência de falha.

4.2 Reator R-1050

Durante o acompanhamento realizado com o agitador do reator de processo contínuo de polimerização R-1050, foram realizadas 18 coletas de vibração. Nas Figuras 22 e 23 são apresentados os gráficos de velocidade em RMS do motor e redutor respectivamente.

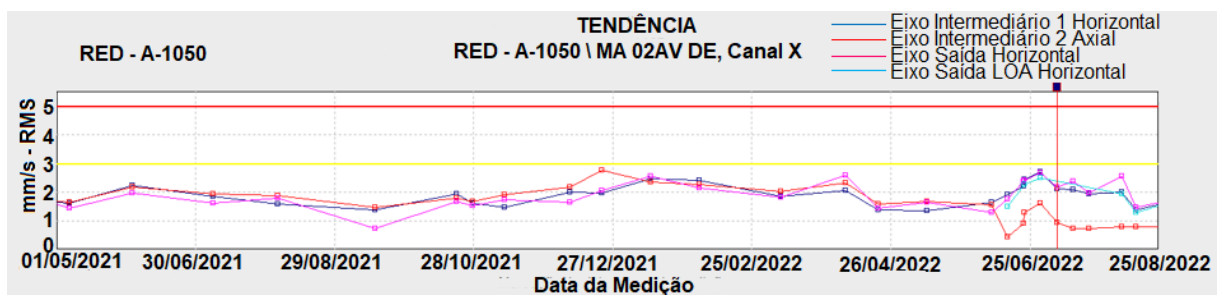
Nota-se que nas primeiras 4 medições do motor do R-1050 (Junho, Julho, Agosto e

Figura 22 – Gráfico de vibração RMS do Motor A-1050



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 23 – Gráfico de vibração RMS do Redutor A-1050



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Setembro de 2021) o equipamento encontra-se em condições normais, com índice de vibração sempre abaixo da linha de alerta (4 mm/s). Na medição realizada em em Outubro de 2021 o equipamento apresentou uma evolução nos parâmetro de vibração, causando a mudança de status do equipamento para a observação, gerando um diagnóstico de níveis de vibração em evolução exponencial crescente, caracterizada pelo desgaste nos rolamentos do motor.

Com a grande criticidade do reator para o processo da unidade, foram realizadas mais duas coletas no mês de Outubro de 2021 (nos dias 20 e 27), para obtenção de mais dados e confirmação de diagnóstico. Apesar de ligeira regressão, níveis apresentaram-se acima do recomendado para trabalho, mantendo assim o diagnóstico de troca de rolamento do motor, e além disso foi recomendada a avaliação da condição do adaptador, pois poderia ter relação direta com a vibração transmitida.

Em Dezembro de 2021, o equipamento apresentou uma queda nos parâmetros vibracionais, após a troca do motor ser feita pelo time de manutenção da fábrica. O diagnóstico do equipamento retornou à condição normal, mantendo-se estável durante as 4 coletas subsequentes em Janeiro e Fevereiro de 2022.

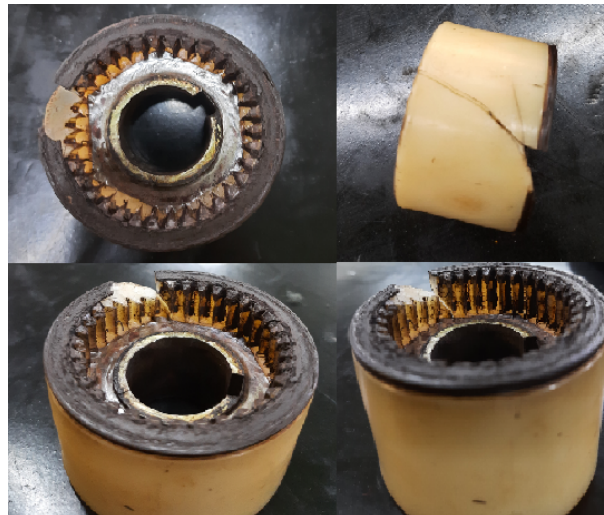
Em Março de 2022, foi notada nova evolução nos parâmetros vibracionais novamente, como a evolução manteve-se alta na medição subsequente em Abril de 2022, o equipamento foi colocado em alerta com o diagnóstico de reincidência na evolução linear de vibração crescente, apresentando desgaste nos rolamentos do motor, sendo indicada a troca dos rolamentos do

adaptador. Esse diagnóstico manteve-se na mesma situação até que no início de Junho de 2022.

No início de Junho de 2022, foram realizadas as últimas medições da análise, gerando o diagnóstico de que após a troca novamente do motor, não foi observada a redução esperada nos parâmetros de vibração permanecendo sintomas de atrito elevados. Ficou decidida a realização de novos testes com aquisição de rotação com estroboscópio e criação de novos pontos para estudo.

Como adicional para o motor do R-1050, em Julho de 2022 foi realizada uma nova atuação para substituição do motor, encontrando-se o acoplamento entre motor e agitador com uma grande rachadura e lascado em parte. Na Figura 24 é mostrada a situação em que foi encontrado o acoplamento, trazendo a concordância com o diagnóstico levantado pela acompanhamento de vibrações.

Figura 24 – Condições do acoplamento do motor com o redutor do R-1050



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Analisando os dados e curva do redutor R-1050 (Figura 23, durante as 4 primeiras coletas (Junho, Julho, Agosto e Setembro de 2021), o equipamento apresentou índices normais de vibração, seguindo abaixo da linha amarela de alerta (3 mm/s). Em Outubro de 2021, foi notada a primeira alteração de vibração, sendo colocado o equipamento em observação com o diagnóstico de níveis de vibração alterados em função da evolução exponencial observada no motor com orientação de acompanhamento da evolução em rotina de coleta.

Em Novembro de 2021, foi realizada nova coleta, em que o equipamento manteve-se o equipamento em observação com o diagnóstico com o acréscimo da observação que o motor havia sido trocado em manutenção porém os índices não apresentaram redução. Em Dezembro de 2021, o equipamento teve seus níveis de vibrações normalizados e retornando à condição normal, com o comentário em que noto-se regressão considerável dos níveis de vibração em todo o conjunto.

A normalidade manteve-se nas 4 medições seguintes, até que em Fevereiro de 2022, o redutor do R-1050 voltou a entrar em observação com o diagnóstico para acompanhamento a elevação na região da entrada do redutor, apresentando sintomas referentes a folgas mecânicas, possivelmente transmitidas do motor que apresenta evolução linear crescente. Logo no mês seguinte, em Março de 2022, os parâmetros apresentaram evolução no ponto de observação, gerando o diagnóstico de equipamento apresentando níveis de vibração instáveis em alguns pontos do redutor, com a recomendação de acompanhamento sintomas de folgas mecânicas.

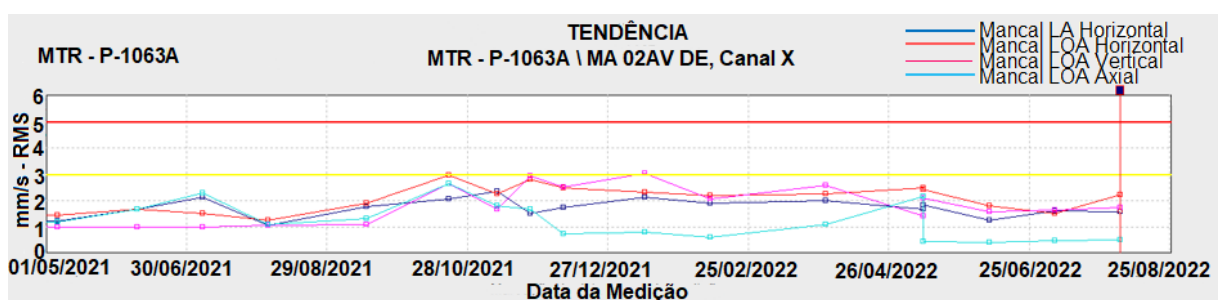
Já no início do mês de Junho de 2022, após a informação da troca do equipamento em atividade, foram realizadas as últimas coletas, mantendo-se o equipamento em observação e com os comentários de que o equipamento não apresentou a regressão esperada, permanecendo sintomas de atrito elevados não saindo do status de observação.

O cenário encontrado na manutenção de Julho de 2022 para o motor do R-1050 tem grande relação também com os diagnósticos levantados para o redutor, tendo origem fortemente na quebra parcial do acoplamento, que apesar da situação extremamente deteriorada vista na Figura 24, pode ser caracterizada como falha parcial, pois o reator manteve-se em operação a todo o momento durante o acompanhamento do estudo.

4.3 Conjunto de Bomba de Vácuo P-1063 A e B

Durante o período referente ao estudo, foram realizadas 11 coletas no conjunto da bomba de vácuo P-1063A. Nas Figuras 25 e 26 são apresentados os gráficos de medição em RMS do motor e bomba respectivamente.

Figura 25 – Gráfico de vibração RMS do Motor P-1063A

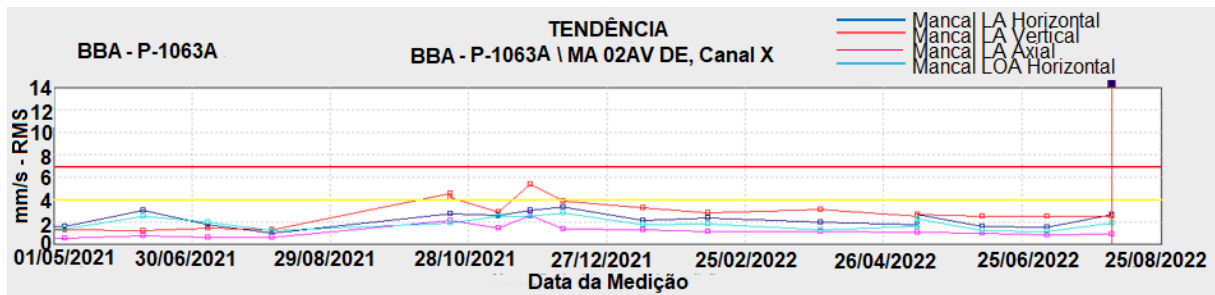


Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Nota-se que nas primeiras medições realizada no motor do conjunto não foram observadas medições elevadas, mantendo níveis de vibração abaixo da linha amarela de alerta (3 mm/s). Em medições realizadas em Setembro e Outubro de 2021, as medições chegaram no limiar de alerta, sendo emitido o diagnóstico que o equipamento estava apresentando vibrações instáveis com características de folga mecânica e problemas na região de transmissão (acoplamento).

Nas medições pós instabilidade, os índices vibracionais mantiveram-se próximos à região de alerta sem apresentar reduções consideráveis. Pós Abril de 2022, os parâmetros começam à

Figura 26 – Gráfico de vibração RMS da Bomba P-1063A



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

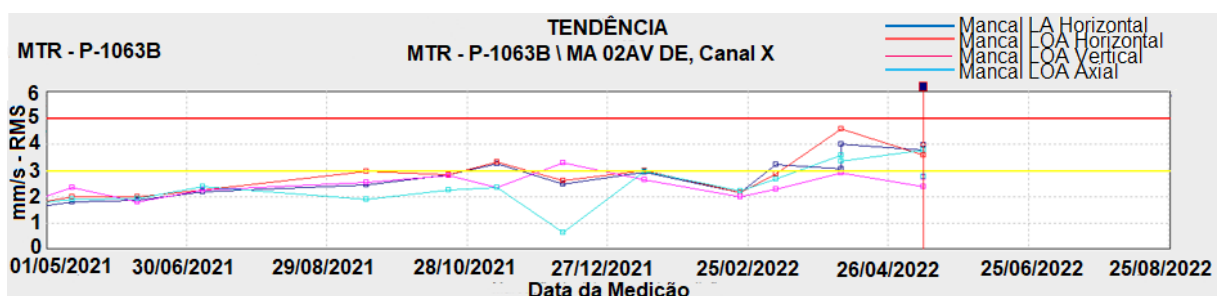
apresentar ligeira redução, até que em Junho de 2022 o diagnóstico do equipamento é alterado para um equipamento operando em condições normais.

Em Abril de 2022, foi realizada a parada de manutenção da área em que opera a bomba de vácuo P-1063A, em que foram executados reapertos nas bases e realinhamento do conjunto, relacionando-se com a queda nas amplitudes RMS.

Analisando-se o gráfico da Bomba (Figura 26), a partir da medição realizada em Setembro de 2021 foi ultrapassada a linha limiar de alerta (4 mm/s), gerando o diagnóstico de que o equipamento apresenta níveis de vibração com presença de atrito excessivo e com a recomendação para troca da carga lubrificante. A bomba ficou ainda instável, variando entre medições acima e abaixo do limite de alerta, até que na medição realizada em Janeiro de 2022 o equipamento apresentou níveis abaixo do limite novamente, mantendo a constância de medições até Junho de 2022, sendo assim alterado o diagnóstico para operação em condições normais.

Durante o período das coletas, foram realizadas cerca de 11 medições dos parâmetros de vibração no conjunto da bomba de vácuo P-1063B. Nas Figuras 27 e 28 são apresentados os valores em RMS do motor e bomba, respectivamente.

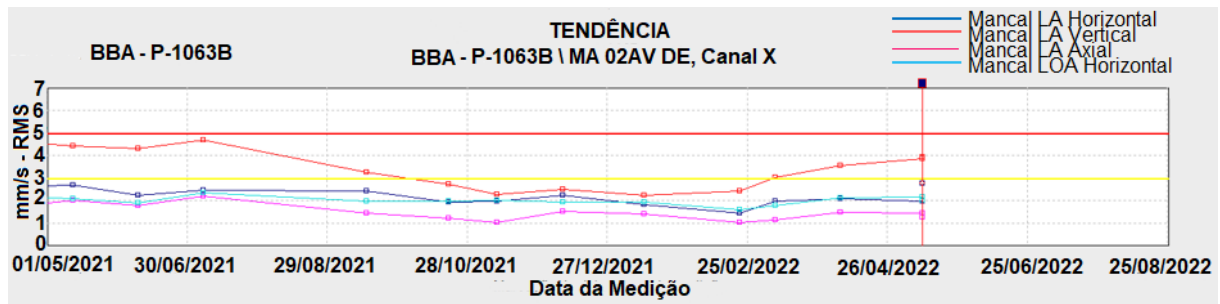
Figura 27 – Gráfico de vibração RMS do Motor P-1063B



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Nota-se que para o motor do conjunto, ele teve medições iniciais dentro dos limites normais de funcionamento, abaixo da linha de alerta (3 mm/s). A partir da medição realizada em Setembro de 2021, o equipamento começou a apresentar instabilidades e ultrapassar os

Figura 28 – Gráfico de vibração RMS da Bomba P-1063B



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

limites de alerta, gerando o diagnóstico de estar apresentando níveis instáveis de vibrações, com características de folga mecânica. Nas medições realizadas a partir de Março de 2022, é possível observar uma grande tendência de alta nos parâmetros vibracionais, porém o diagnóstico manteve-se bastante similar, apresentando características de folga mecânica.

Analisando-se o gráfico referente a bomba do conjunto (Figura 28), já tem início de índices de vibrações superiores à linha de alerta (3 mm/s), recebendo um diagnóstico de níveis de vibrações instáveis no mancal LOA da bomba. Após a medição de Setembro de 2021, os índices tiveram uma redução para níveis inferiores ao alarme, recebendo um diagnóstico novo de operação em níveis normais. Em Março de 2022, o motor voltou a apresentar índices de vibração acima dos níveis de alerta e ainda com tendência de subida. Sendo atualizado o diagnóstico de índices de vibrações instáveis e elevados atingindo 14gE, apresentando características de falha de rolamento no mancal LOA, além do indícios de folgas mecânicas, sendo recomendada a intervenção. A última medição do equipamento foi realizada em Maio de 2022.

É interessante abrir uma observação que nos meses de Novembro e Dezembro de 2021, as bombas de vácuo não estavam conseguindo entregar o vácuo desejado para o processo, sendo assim, foi elaborada a estratégia de enviar a bomba P-1063B para a fabricante (GARDNER DENVER NASH) visando realização de um check-up. Nesse período foi realizada a troca dos rolamentos, selos mecânicos, e kits de reparo, acabamento e fixação. Ao retornar em operação, em Fevereiro de 2022, a bomba não apresentou as reduções em vibração esperadas para um equipamento totalmente revisado.

Em Maio de 2022, a bomba foi novamente enviada para reparo externo na NASH, sendo recomendada a troca dos rolamentos e seus suportes, assim como o kit reparo de fixação. Foi identificado um desgaste operacional nas peças. Na Figura 29 é apresentado o estado das peças da bomba quando a mesma foi enviada para reparo.

No mesmo período, o motor do conjunto também foi enviado para reparo externo, em que foram realizadas a troca dos rolamentos, o rejuvenescimento preventivo, troca dos anéis V, chaveta paral e da arruela ondulada.

Figura 29 – Condições internas com desgaste da Bomba P-1063B



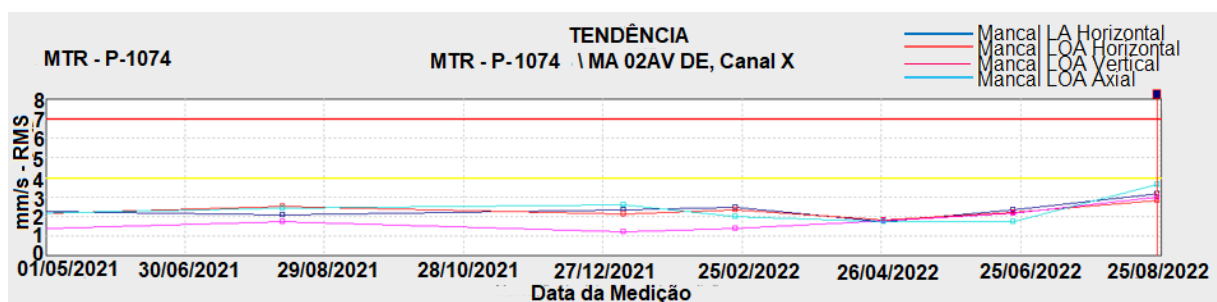
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Até o fim do estudo, o conjunto ainda não havia retornado em operação, esperando-se que retorne aos parâmetros normais de vibração após todas as manutenções executadas nos cenários encontrados.

4.4 Conjunto Motor e Bomba 1074

Durante o período de análise do estudo, foi coletada a vibração do equipamento em 10 oportunidades. Nas Figuras 30 e 31 são apresentados os gráficos e evolução vibracional da bomba e motor do conjunto em valor RMS.

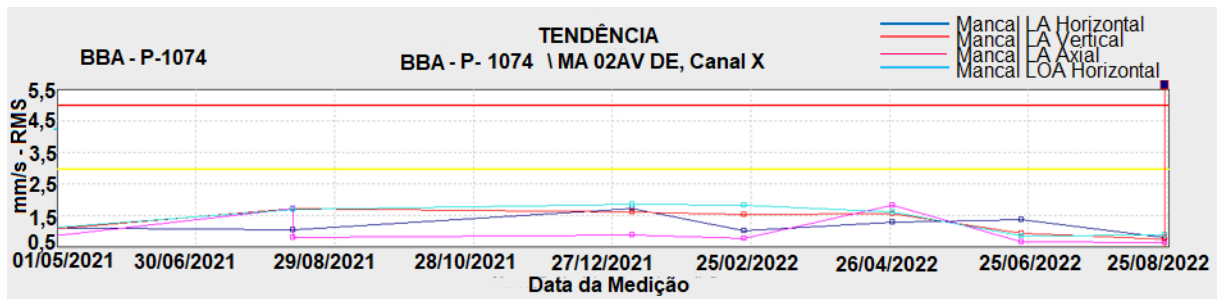
Figura 30 – Gráfico de vibração RMS do Motor P-1074



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Nota-se que o equipamento vinha de um histórico de normalidade e assim iniciou com a primeira medição em Agosto. Com relação ao motor da P-1074 (Figura 30) durante todas as interações manteve-se com índices vibracionais abaixo da linha de alerta para o equipamento (4 mm/s), com um pico vibracional estável abaixo de 3 mm/s. Observando-se os relatórios emitidos após análise, sempre mantiveram-se com o comentário de equipamento em condições normais.

Figura 31 – Gráfico de vibração RMS da Bomba P-1074



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

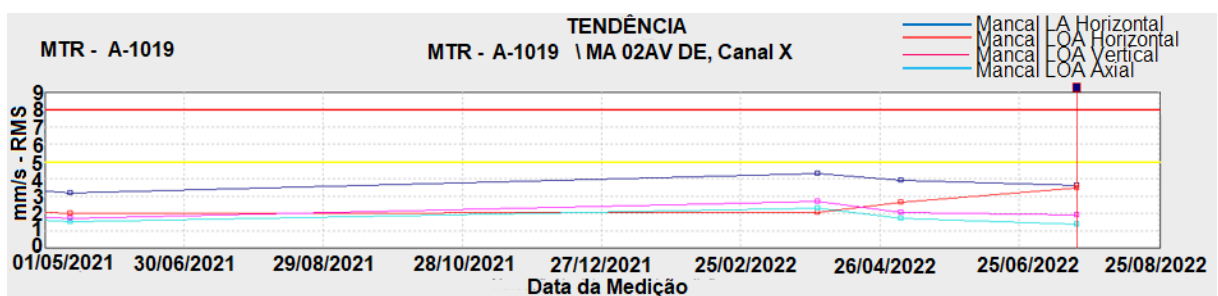
Com relação à Bomba (Figura 31) durante as coletas de vibração realizadas também foram observadas condições sempre dentro do esperado, abaixo do limite de alerta (3 mm/s). Porém durante a medição realizada em Abril de 2022 foi observado um pico além do esperado quando observada a linha azul clara (que representa a medição no mancal horizontal). Com a situação de alerta, foi recomendada a lubrificação da bomba afim de eliminar possíveis atritos. Após ser realizada, o resultado foi efetivo e abaixou novamente o pequeno pico da linha azul claro.

O conjunto bomba e motor da P-1074 manteve-se operacional e com produção durante todo o período estudado, tendo somente uma manutenção realizada em Maio de 2022. Nessa atuação foi feita a retirada da bomba P-1074 para a troca de selo mecânico, que estava apresentando um vazamento acentuado. Os rolamentos estavam em boas condições e ao ser reinstalada, a bomba teve um alinhamento à laser realizado pelo equipamento da SKF®.

4.5 Conjunto Motovariador A-1019 e A-1022

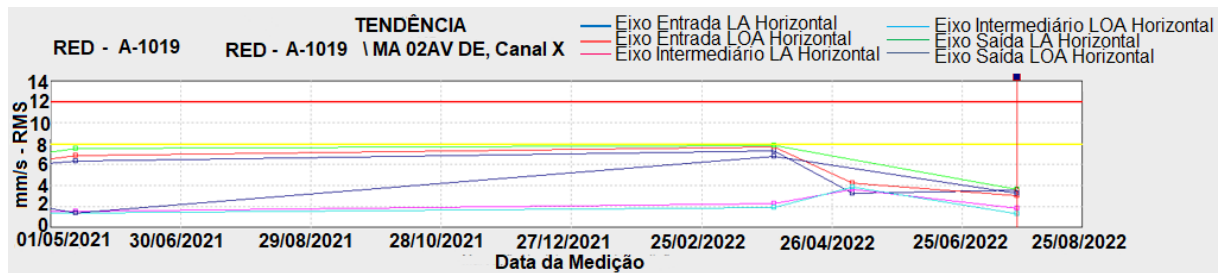
Durante o período de análise utilizado para o estudo, obteve-se a coleta vibracional no conjunto do A-1019 por apenas 3 vezes, como pode-se observar nas Figuras 32 e 33, que apresentam o gráfico vibracional em RMS.

Figura 32 – Gráfico de vibração RMS do Motor A-1019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 33 – Gráfico de vibração RMS do Redutor A-1019



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Nota-se que em todas as coletas realizadas, os índices vibracionais mantiveram-se abaixo da linha de alerta (5 mm/s para o motor e 8 mm/s para o redutor). Pode-se observar na Figura 33 que na medição realizada em Março de 2022, o equipamento estava com vibrações próximas à linha de alerta, nesse momento foi levantada a observação para o acompanhamento da evolução com a rotina de coleta, pois o equipamento estava apresentando níveis de vibração instáveis na baixa frequência, com destaque no componente de rotação. Porém os níveis regrediram antes que fosse emitido um alerta.

O conjunto do motovariador A-1019 manteve-se em produção durante todo o período do trabalho. Em Abril de 2022 ele apresentou uma falha completa, foi necessário o envio do equipamento para uma empresa que realiza a manutenção especializada. Foi gerada uma interrupção na área produtiva por 2 semana proveniente da falha. Na manutenção externa foram realizadas as atividades de balanceamento do rotor, embuchamento da tampa traseira e dianteira, rebobinamento corretivo, refizeram a ponta do eixo, rejuvenescimento corretivo, e foram trocados os três rolamentos presentes no equipamento. Na Figura 34 é mostrada a condição do equipamento ao ser recebido na empresa que realizou o reparo.

Figura 34 – Condições internas de estator, ponta do eixo e bobina do motoredutor A-1019



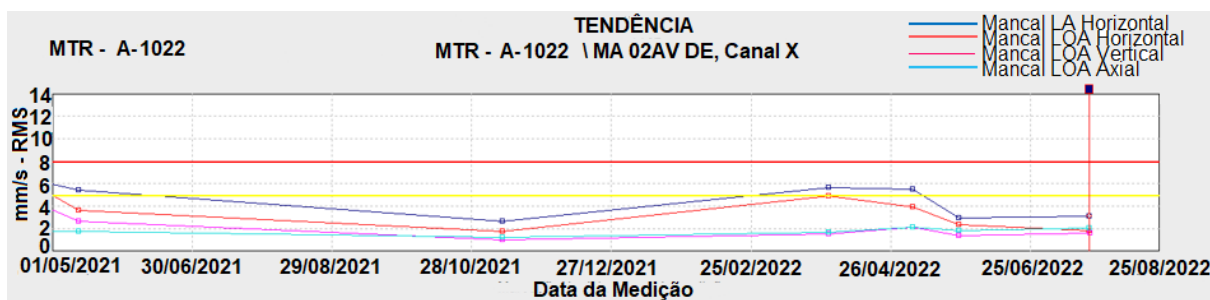
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Nesse caso, o intervalo de coletas vibracionais não foi o suficiente para detectar a falha

do equipamento preditivamente.

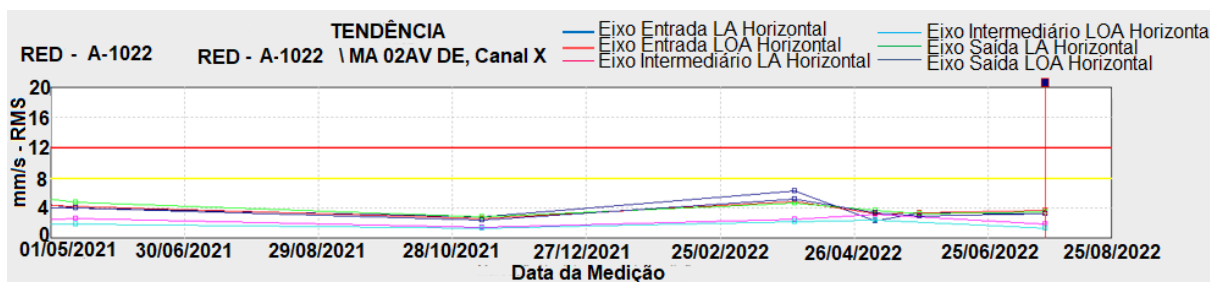
Já para o conjunto do motovariador A-1022, foram realizadas 4 coletas vibracionais do equipamento. Nas Figuras 35 e 36 são apresentados os gráficos de acompanhamento de vibração do motor e redutor do conjunto respectivamente.

Figura 35 – Gráfico de vibração RMS do Motor A-1022



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 36 – Gráfico de vibração RMS do Redutor A-1022



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Nota-se que o motor do A-1022 apresentou pontos de vibração RMS acima da linha de alerta (5 mm/s) durante as coletas realizadas e Março e Maio de 2022, porém ainda mesmo no mês de Maio os níveis regrediram, após esse tempo em observação e realizada a lubrificação no equipamento.

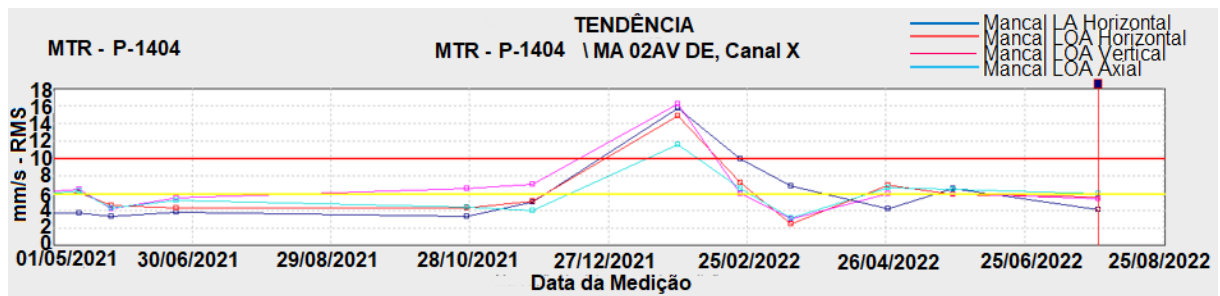
O redutor do conjunto A-1022 não apresentou em nenhum momento valores que superaram sua linha de alerta (8 mm/s), mantendo sempre abaixo. Em Maio de 2022 houve um ponto de pico, marcando pouco mais de 6 mm/s, porém logo apresentou tendência de queda e os valores voltaram a regredir.

O conjunto do motovariador A-1022 manteve em operação durante todos o período de análise, também não teve nenhuma atuação de manutenção ou falha reportada. Seguindo de acordo com as medições vibracionais em condição normal de operação.

4.6 Bomba de vácuo P-1404

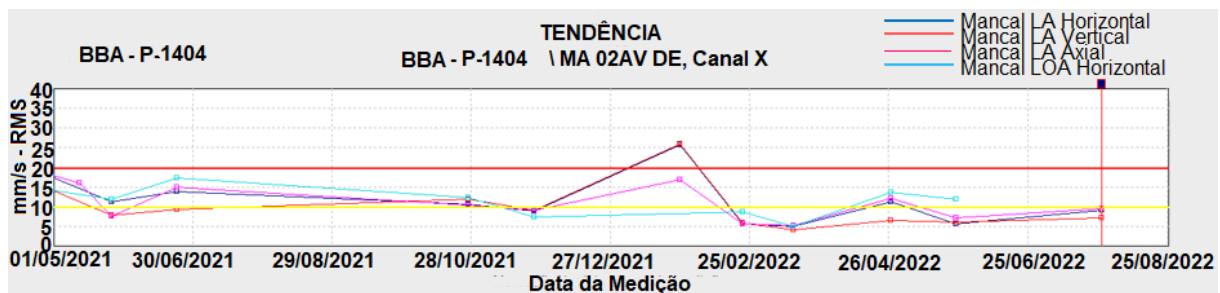
Durante o período de análise vibracional proposto neste estudo, foram realizadas ao mínimo 9 coletas de vibração na bomba de vácuo principal de unidade P-1404. Nas Figuras 37 e 38 são apresentados os índices vibracionais em velocidade RMS apresentados pelo motor e bomba, respectivamente.

Figura 37 – Gráfico de vibração RMS do Motor P-1404



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Figura 38 – Gráfico de vibração RMS da Bomba P-1404



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Nota-se que os aspectos vibracionais do motor excederam por diversas vezes a linha de alerta (6 mm/s) e também teve um ponto na medição realizada em Janeiro de 2022, ultrapassou a linha vermelha de alarme (10 mm/s). Assim, desde a primeira medição realizada em Junho de 2021 foi aberta uma notificação com a recomendação para que fosse realizada um alinhamento para possíveis folgas mecânicas. Após a medição de Janeiro de 2022, foram identificados níveis de vibração instáveis, com crescimento exponencial, com fortes sintomas de folga mecânica em todos os pontos coletados. No mês seguinte em Fevereiro de 2022, foi observada a diminuição nos valores RMS, porém as recomendações mantiveram-se similares com a condição preocupante do equipamento e os sintomas de folga mecânica.

Analisando o gráfico referente aos parâmetros RMS da bomba (Figura 38), a análise torna-se extremamente similar à análise do motor (dado a grande proximidade física e dependência dos equipamentos), somente alterando-se os valores de alerta e alarme, sendo 10 mm/s e 20 mm/s respectivamente.

Comparando com o período das medições, o conjunto da bomba de vácuo P-1404 sofreu muitas falhas completas e parciais, necessitando por muitas vezes a substituição pela bomba back-up. Dentre as diversas atuações necessárias, a troca do óleo foi fator mensal, pois o vácuo criado pela bomba acaba succionando muito vapor acético produzido no processo de um dos principais produtos de sua área. Como a linha de produção não possui um lavador de gases, o vapor ácido criou um ambiente hostil para o equipamento, deixando o óleo com propriedades não adequadas e danificando as peças internas da bomba.

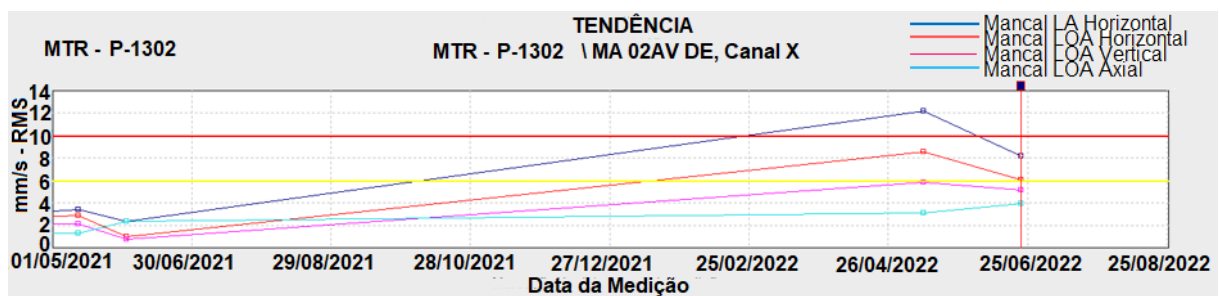
Dentre as falhas completas registradas na bomba P-1404 em que foi necessária sua retirada e troca de kits internos, foram registradas 5 no total. Sendo em 2021 nos meses de Junho, Outubro e Novembro, e em 2022 nos meses de Janeiro e Maio.

Observa-se a grande ligação entre os parâmetros de vibração sempre apresentando alertas com o número de falhas constante e condição deficitária do equipamento.

4.7 Bomba de vácuo P-1302

Durante o período selecionado para realização das análises para o trabalho, foram realizadas apenas 3 coletas no conjunto do equipamento. Todas as coletas foram feitas no motor da P-1302, por esse motivo tem-se apenas a Figura 39 representando a velocidade de vibração em RMS do ativo.

Figura 39 – Gráfico de vibração RMS do Motor P-1302



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Os parâmetros vibracionais iniciam-se abaixo da linha do nível de alerta (6 mm/s) em Junho de 2021. Após um grande período sem a realização de coletas no equipamento (ocorrido pelo fato da unidade não estar operando em alguns dias da coleta, e também da falta de comunicação no cumprimento da rota do técnico dedicado), em Maio de 2022 foi realizada a medição e encontrado um cenário de valor RMS ultrapassando até a linha vermelha de alarme (10 mm/s), sendo passado o diagnóstico de que as vibrações apresentavam características relacionadas à folga mecânica. Na medição seguinte, em Junho de 2022, encontrou-se encontrados valores de velocidade RMS em regressão, porém ainda superiores a linha amarela de alerta. O diagnóstico fornecido manteve-se o mesmo relacionando com as folgas mecânicas.

Em relação às atividades de manutenção realizadas no equipamento, para essa bomba de vácuo, possui-se um cenário semelhante ao da bomba P-1404. Durante o processo, o equipamento acaba succionando muito vapores acéticos, que aceleram a degradação das peças com o pH extremamente ácido.

Durante o mesmo período de análise, a bomba apresentou uma falha parcial e duas falhas completas, necessitando a sua retirada e manutenção em bancada, realizando a troca dos kits internos do equipamento. A falha parcial foi notificada em Outubro de 2021, sendo necessária a troca do óleo. As falhas completas ocorreram em Agosto de 2021 e Maio de 2022, sendo a primeira imprevisível pelo monitoramento vibracional, já que ficou-se muito tempo sem que foi realizada medições no equipamento, e a segunda previsível, visto o pico de vibração observado na medição anterior, porém o pós reparo não apresentou uma grande redução nos índices, podendo indicar alguma falha no reparo ou instalação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

O presente estudo efetuou uma análise sobre a eficácia das análises de vibrações realizadas em equipamentos críticos de uma indústria química, sendo as coletas sendo executadas por um técnico dedicado em rotas mensais.

O primeiro conjunto de equipamentos selecionados para a análise foram os motoredutores A-1037 e A-1038. Pode-se destacar a atuação realizada no A-1038, em que após identificada a falha preditivamente por meio da coleta de vibração, foi programada a compra de um novo conjunto para substituição. Assim que realizada a troca do equipamento, os índices de vibração retornaram à normalidade, comprovando a assertividade no diagnóstico e efetividade na coleta de vibrações.

O segundo conjunto a ser analisado foi do reator R-1050. Pode-se observar os constantes diagnósticos referentes às condições do motor e vibração transmitida, que após trocas consecutivas do motor e não ter a diminuição esperada nos parâmetros. Foi realizada uma nova manutenção, em que foi encontrado o acoplamento entre motor e redutor, com rachaduras e totalmente avariado. Nesse caso, a análise de vibrações evitou uma falha completa do equipamento. É possível observar nos mês de Junho da Figura 22, a curva da banheira em ação na fase do envelhecimento do equipamento, em que aumentou-se os intervalos de vibração e foi identificado por extrapolação da curva a tendência de falha total.

O terceiro conjunto de equipamentos, foram as bombas de vácuo P-1063A e P-1063B. No primeiro equipamento, foram diagnosticados poucas anomalias vibracionais, não sendo realizada nenhuma manutenção no equipamento e com ele não apresentando nenhuma falha no funcionamento. Já a bomba P-1063B teve mais diagnósticos e recomendações para manutenção, ela teve sua bomba enviada para manutenção externa em duas oportunidade e seu motor enviado uma vez, possuindo necessidade de troca de componentes rotativos, confirmando a inconformidade identificada com os parâmetros vibracionais.

O quarto conjunto analisado foi o conjunto motor e bomba 1074, sendo que durante o período de análises não foi diagnosticado nenhum cenário em que foi indicada a necessidade de manutenção. Na prática, a única manutenção realizada na bomba foi a troca do selo mecânico que estava com vazamento, cenário que não é identificado nas medições de vibração mesmo.

O quinto conjunto analisado foi dos motovariadores A-1019 e A-1022. Durante os resultados obtidos com o A-1019, foram executadas medições a cada 2 a 3 meses, não foram identificados nenhuma anomalia ou diagnóstico pelos parâmetros vibracionais, porém foi necessária a realização de uma manutenção no conjunto do equipamento pós falha completa. Em relação ao conjunto A-1022, não obteve-se nenhum diagnóstico fora da normalidade nem falha no equipamento.

O sexto conjunto analisado foi a bomba de vácuo principal P-1404 foram identificados pontos de alerta e emitidos diagnósticos para falhas a partir das análises vibracionais. O mesmo equipamento passou por diversas substituições e manutenções devido à falhas completas e parciais, devido principalmente ao vapor agressivo do processo. Para esse caso pode-se considerar que o período de coleta mensal não é o suficiente para detectar a velocidade das falhas à tempo de uma atuação.

O sétimo e último conjunto analisado foi da bomba de vácuo P-1302 foram realizada poucas medições durante o tempo de estudo, cerca de uma a cada 4 meses, e nesse tempo foram diagnosticadas folgas mecânicas. Foram realizadas duas substituições da bomba pós falhas completas, não sendo possível realizar o diagnóstico efetivo preditivo antes da falha.

O acompanhamento de vibrações, quando realizado em rota mínima mensal para acompanhamento dos ativos, mostrou-se efetivo para auxiliar na manutenção preventiva de equipamentos antes de uma falha total ocorrer, como pode-se notar principalmente nos casos do motoredutor A-1038, no conjunto do R-1050 e conjunto da bomba de vácuo P-1063B. Esses equipamentos apresentaram indicativos de falha, com valores RMS superiores aos níveis aceitáveis, antes em que se ocorressem falhas, permitindo o planejamento e atuação preditiva da manutenção.

Porém, se não possui as rotas com cumprimento adequado deixando o equipamento sem o acompanhamento correto, principalmente quando são expostos à processos nocivos, podem acontecer falhas completas nos equipamentos sem algum aviso prévio, como pode-se observar no motovariador A-1019, e bomba de vácuo P-1404 e P-1302. Sendo que no caso do motovariador A-1019 fica a recomendação para instalação de um sistema de monitoramento online, permitindo a coleta em tempo real e ininterrupto, e futuramente a adequação dos valores de alerta e alarme de acordo com o equipamento, pois no estudo, os níveis de vibração não estavam acima das linhas de controle e mesmo assim teve-se uma falha completa. Em relação às bombas de vácuo P-1404 e P-1302, também fica a recomendação da instalação de um sistema de monitoramento contínuo, afim de realizar as medições com maior frequência que a do técnico, sendo possível identificar o início das falhas mais precocemente, visto que a janela mensal para coleta de vibrações demonstrou-se muito espaçada para ser suficiente para detectar as falhas preditivamente.

5.1 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, propõe-se a instalação de sensores que realizam o monitoramento *online* de vibração, dando-se prioridade para as os motovariadores A-1019 e A-1022 e também para as bombas de vácuo P-1404 e P-1302, posteriormente recomenda-se que seja instalado em todos os equipamentos monitorados. Também, propõe-se o início da análise em espectro de frequência, para o diagnóstico mais preciso e detalhado na identificação das falhas.

REFERÊNCIAS

- ABIMAQ. *A HISTÓRIA DAS MÁQUINAS*. [S.l.]: MAGMA, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 20, 21 e 22.
- ABRAMAN: *Gestão de técnicas preditivas*. São Paulo: Filial V, 2010. 51 p. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5462*: “confiabilidade e manutenibilidade”. Rio de Janeiro, 1994. Citado na página 23.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10082*: “análise de vibração mecânica de máquinas com velocidades de operação de 600 a 15000 rpm-bases para especificação e padrões de avaliação”. Rio de Janeiro, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- BALDISSARELI, L.; FABRO, E. Manutenção preditiva na indústria 4.0. *SCIENTIA CUM INDUSTRIA*, v. 7, n. 2, p. 12–22, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- CORSO, L. et al. Otimização baseada em confiabilidade para uma célula de carga multiaxial utilizando algoritmos genéticos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, v. 32, n. 4, p. 221–229, 2016. Citado na página 17.
- GHOBAKHLOO, M. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, v. 252, n. 119869, 2020. Citado na página 22.
- IMACHINE. *A evolução da manutenção preditiva*. <https://www.imachine.com.br>: Tech Plus, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10816-1*: Mechanical vibration - evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts-part 1: General guidelines. Suíça, 1995. Citado na página 26.
- INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 7919*: Mechanical vibration — evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 mw with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min. Suíça, 2009. Citado na página 26.
- JUNIOR, A. A. *Manutenção preditiva usando análise de vibrações*. [S.l.]: Editora Manole, 1994. Citado na página 18.
- MOURA, D. A. de; BOTTER, R. C.; SILVA, A. F. da. Importância das dimensões custo, qualidade, flexibilidade, inovação, tempo e confiabilidade para a competitividade da atual indústria marítima brasileira. *Revista de Administração*, v. 45, n. 1, p. 18–29, 2010. Citado na página 17.
- NEPOMUCENO, L. X. *Técnicas de Manutenção Preditiva (Volume 1)*. [S.l.]: Blucher, 2014. Citado na página 17.
- SHAHBAKHS, M.; EMAD, G. R.; CAHOON, S. Industrial revolutions and transition of the maritime industry: The case of seafarer’s role in autonomous shipping. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, v. 1, p. 10–18, 2022. Citado na página 21.

URBANIN, N. de S. Aplicação pratica de analise de vibrações auxiliando na manutenção preditiva de equipamentos. v. 1, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

WU, H.; HUANG, A.; SUTHERLAND, J. W. Condition-based monitoring and novel fault detection based on incremental learning applied to rotary systems. *Procedia CIRP*, v. 105, p. 788–793, 2022. Citado na página 24.

APÊNDICE A – TABELAS DE COLETAS DE VIBRAÇÕES

Tabela 11 – Dados do Redutor do A-1038

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
RED - A1038	23/09/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração em evolução exponencial abrupta na região de alta frequência do redutor com aumento expressivo do nível de atrito e ruído observado em sensível caracterizando sintomas de desgaste dos componentes internos do redutor.
RED - A1038	29/09/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração em evolução exponencial abrupta na região de alta frequência do redutor com aumento expressivo do nível de atrito e ruído observado em sensível caracterizando sintomas de desgaste dos componentes internos do redutor. Completado o nível de óleo do redutor e nova coleta de vibração onde não houve redução dos níveis de vibração.
RED - A1038	20/10/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração em evolução exponencial abrupta na região de alta frequência do redutor com aumento expressivo do nível de atrito e ruído observado em sensível caracterizando sintomas de desgaste dos componentes internos do redutor. Completado o nível de óleo do redutor e nova coleta de vibração onde não houve redução dos níveis de vibração. Amplitudes regrediram sem atingir limites considerados normais para trabalho. Possíveis variáveis de processo causando a instabilidade dos níveis.
RED - A1038	24/11/2021	Mantendo Status anterior
RED - A1038	22/12/2021	Mantendo Status anterior
RED - A1038	26/01/2022	Mantendo Status anterior
RED - A1038	09/02/2022	Mantendo Status anterior
RED - A1038	16/03/2022	Mantendo Status anterior
RED - A1038	27/04/2022	Mantendo Status anterior
RED - A1038	25/05/2022	Pós-Intervenção: Equipamento passou por intervenção mecânica onde apresentou regressão considerável dos níveis de vibração caracterizando a assertividade da recomendação. Equipamento em condição normal
RED - A1038	22/06/2022	Equipamento em condição normal
RED - A1038	29/06/2022	Equipamento em condição normal

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 12 – Dados do Redutor do A-1037

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
RED - A1037	16/06/2021	Equipamento em condição normal
RED - A1037	23/09/2021	Equipamento em condição normal
RED - A1037	24/11/2021	Equipamento em condição normal
RED - A1037	22/12/2021	Equipamento em condição normal
RED - A1037	26/01/2022	Equipamento em condição normal
RED - A1037	09/02/2022	Equipamento em condição normal
RED - A1037	30/03/2022	Equipamento em condição normal
RED - A1037	27/04/2022	Equipamento em condição normal
RED - A1037	25/05/2022	Equipamento em condição normal
RED - A1037	22/06/2022	Equipamento em condição normal

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 13 – Dados do Motor do A-1038

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
MTR - A-1038	23/09/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração em evolução exponencial crescente devido a vibração transmitida relacionada a elevação abrupta dos níveis de atrito no redutor após manutenção realizada. RDP aberta no redutor para corrigir anomalia. Acompanhar evolução em rotina de cadência.
MTR - A-1038	29/09/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração em evolução exponencial crescente devido a vibração transmitida relacionada a elevação abrupta dos níveis de atrito no redutor após manutenção realizada. RDP aberta no redutor para corrigir anomalia. Acompanhar evolução em rotina de cadência.
MTR - A-1038	24/11/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração em evolução exponencial crescente devido a vibração transmitida relacionada a elevação abrupta dos níveis de atrito no redutor após manutenção realizada. RDP aberta no redutor para corrigir anomalia. Acompanhar evolução em rotina de cadência.
MTR - A-1038	20/10/2021	Equipamento em condição normal. Conjunto passou por intervenção onde nota-se a regressão exponencial dos níveis de vibração. Acompanhar comportamento em próximos registros
MTR - A-1038	22/12/2021	Equipamento em condição normal. Amplitudes alteradas na região do redutor que já possui nota para intervenção mecânica
MTR - A-1038	26/01/2022	Equipamento em condição normal. Amplitudes alteradas na região do redutor que já possui nota para intervenção mecânica
MTR - A-1038	09/02/2022	Equipamento em condição normal. Amplitudes alteradas na região do redutor que já possui nota para intervenção mecânica
MTR - A-1038	16/03/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1038	27/04/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1038	25/05/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1038	22/06/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1038	29/06/2022	Equipamento em condição normal

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 14 – Dados do Motor do A-1037

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
MTR - A-1037	16/06/2021	Equipamento em condição normal
MTR - A-1037	23/09/2021	Equipamento em condição normal
MTR - A-1037	24/11/2021	Equipamento em condição normal
MTR - A-1037	22/12/2021	Equipamento em condição normal
MTR - A-1037	26/01/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1037	09/02/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1037	30/03/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1037	27/04/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1037	25/05/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1037	22/06/2022	Equipamento em condição normal

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 15 – Dados do Motor do A-1019

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
MTR - A-1019	31/07/2021	Equipamento não monitorado nesta data
MTR - A-1019	10/11/2021	Equipamento não monitorado nesta data
MTR - A-1019	26/01/2022	Equipamento não monitorado nesta data
MTR - A-1019	30/03/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1019	05/05/2022	Equipamento em condição normal

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 16 – Dados do Motor do A-1022

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
MTR - A-1022	31/07/2021	Equipamento não monitorado nesta data
MTR - A-1022	10/11/2021	Equipamento em condição normal
MTR - A-1022	26/01/2022	Equipamento não monitorado nesta data
MTR - A-1022	30/03/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1022	05/05/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1022	25/05/2022	Equipamento em condição normal

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 17 – Dados do Redutor do A-1019

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
RED - A-1019	31/07/2021	Equipamento não monitorado nesta data
RED - A-1019	10/11/2021	Equipamento não monitorado nesta data
RED - A-1019	26/01/2022	Equipamento não monitorado nesta data
RED - A-1019	30/03/2022	Equipamento em condição normal
RED - A-1019	05/05/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis em região de baixa frequência com forte destaque da componente de rotação em praticamente todos os pontos de coleta do redutor. Acompanhar evolução em rotina de coleta

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 18 – Dados do Redutor do A-1022

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
RED - A-1022	31/07/2021	Equipamento não monitorado nesta data
RED - A-1022	10/11/2021	Equipamento em condição normal
RED - A-1022	26/01/2022	Equipamento não monitorado nesta data
RED - A-1022	30/03/2022	Equipamento em condição normal
RED - A-1022	25/05/2022	Frequências de atrito no eixo intermediário, acompanhar em rota.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 19 – Dados da Bomba da P-1074

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
BBA - P-1074	11/08/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1074	05/01/2022	Equipamento em condição normal
BBA - P-1074	22/02/2022	Equipamento em condição normal
BBA - P-1074	27/04/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis com presença de atrito excessivo em região de alta frequência. Realizar a troca da carga lubrificante da bomba e nova coleta de dados de vibração após concluir a tarefa. Acompanhar evolução em rotina de coleta de dados.
BBA - P-1074	22/06/2022	Equipamento em condição normal

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 20 – Dados do Motor da P-1074

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
MTR - P-1074	11/08/2021	Equipamento em condição normal
MTR - P-1074	05/01/2022	Equipamento em condição normal
MTR - P-1074	22/02/2022	Equipamento em condição normal
MTR - P-1074	27/04/2022	Equipamento em condição normal. Acompanhar presença de pé manco (120Hz)
MTR - P-1074	22/06/2022	Equipamento em condição normal

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 21 – Dados da Bomba do P-1404

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
BBA - BB VC P	23/06/2021	Apresentando considerável elevação de amplitude, com a presença da componente de rotação e suas harmônicas
BBA - BB VC P	27/07/2021	Executado intervenção, dado baixa na notificação e aguardar nova coleta de dados.
BBA - BB VC P	27/10/2021	Equipamento continua apresentando níveis de vibração acima do recomendado para trabalho. Aguardar novo registro para ações.
BBA - BB VC P	24/11/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis com sintomas de folga mecânica observados em todos os pontos de coleta. Histórico demonstra que essa assinatura espectral é característica do conjunto. Acompanhar amplitudes em evolução em rotina de coleta
BBA - BB VC P	26/01/2022	Cliente informa que o equipamento vem sofrendo instabilidade e succionando produto para dentro do filtro, comprometendo o conjunto rapidamente. Solicitar nova coleta em próxima visita para avaliar comportamento. Acompanhar evolução em rotina de coleta
BBA - BB VC P	22/02/2022	Mantendo Status anterior
BBA - BB VC P	16/03/2022	Mantendo Status anterior
BBA - BB VC P	27/04/2022	Mantendo Status anterior
BBA - BB VC P	29/06/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis e vem sendo substituído constantemente em função de desgaste prematuro dos componentes internos. Técnico informou que a sensivelmente em campo o equipamento já se apresentava novamente em péssimas condições, com movimentação interna do cliente para substituição da mesma por uma revisada que fica em standby. Cliente já sinalizou que estão com dificuldade na correção do problema rotineiro neste conjunto (sucção de produto para dentro do filtro). Aguardar próximo registro que possivelmente já será com outro conjunto em trabalho na posição. Cliente será comunicado da nova evolução exponencial observada.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 22 – Dados do Motor da P-1404

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
MTR - BB VC P	23/06/2021	Mancal LA com sintomas de frequencias relacionadas a desalinhamento e desbalanceamento, provaveis folgas mecanicas, acompanhar em rota. Vibração transmitida.
MTR - BB VC P	27/10/2021	Mancal LA com sintomas de frequencias relacionadas a desalinhamento e desbalanceamento, provaveis folgas mecanicas, acompanhar em rota. Vibração transmitida.
MTR - BB VC P	24/11/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis com sintomas de folga mecânica observados em todos os pontos de coleta. Histórico demonstra que essa assinatura espectral é característica do conjunto. Acompanhar amplitudes em evolução em rotina de coleta
MTR - BB VC P	26/01/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis com sintomas de folga mecânica observados em todos os pontos de coleta. Histórico demonstra que essa assinatura espectral é característica do conjunto. Acompanhar amplitudes em evolução em rotina de coleta
MTR - BB VC P	22/02/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis, em última coleta apresentou exponencial crescente com fortes sintomas de folgas mecânicas observados em todos os pontos de coleta. Ainda não foi possível identificar quais os dados técnicos do conjunto, porém cliente já fio acionado para ajudar no caso. Cliente informa que o equipamento vem sofrendo instabilidade e succionando produto para dentro do filtro, comprometendo o conjunto rapidamente. Solicitar nova coleta em próxima visita para avaliar comportamento. Acompanhar evolução em rotina de coleta
MTR - BB VC P	16/03/2022	Mantendo Status anterior
MTR - BB VC P	27/04/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis e vem sendo substituído constantemente em função de desgaste prematuro dos componentes internos. Técnico informou que a sensivelmente em campo o equipamento já se apresentava novamente em péssimas condições, com movimentação interna do cliente para substituição da mesma por uma revisada que fica em standby. Cliente já sinalizou que estão com dificuldade na correção do problema rotineiro neste conjunto (sucção de produto para dentro do filtro). Aguardar próximo registro que possivelmente já será com outro conjunto em trabalho na posição. Cliente será comunicado da nova evolução exponencial observada.
MTR - BB VC P	25/05/2022	Mantendo Status anterior
MTR - BB VC P	29/06/2022	Mantendo Status anterior

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 23 – Dados do Motor da P-1302

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
MTR - P-1302	02/06/2021	Equipamento em condição normal
MTR - P-1302	31/07/2021	Equipamento não monitorado nesta data
MTR - P-1302	24/11/2021	Equipamento não monitorado nesta data
MTR - P-1302	28/01/2022	Equipamento não monitorado nesta data
MTR - P-1302	24/02/2022	Equipamento não monitorado nesta data
MTR - P-1302	27/04/2022	Equipamento não monitorado nesta data
MTR - P-1302	26/05/2022	Em todos os pontos e parâmetros apresentaram frequências relacionadas 1xRPM e múltiplos, características de folgas mecânicas, equipamento similares que apresentaram mesmo comportamento apresentaram problemas na transmissão, mancal LA com intensidade de 8,5mm/s, sendo seu histórico de trabalho abaixo de 3mm/s. No gráfico de contribuição e forma circular a frequência de 1xRPM se apresenta com 83%.
MTR - P-1302	23/06/2022	Em todos os pontos e parâmetros apresentaram frequências relacionadas 1xRPM e múltiplos, características de folgas mecânicas, equipamento similares que apresentaram mesmo comportamento apresentaram problemas na transmissão, mancal LA com intensidade de 8,5mm/s, sendo seu histórico de trabalho abaixo de 3mm/s. No gráfico de contribuição e forma circular a frequência de 1xRPM se apresenta com 83%.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 24 – Dados da Bomba da P-1063B

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
BBA - P-1063B	09/06/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063B	07/07/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063B	15/09/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063B	20/10/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis no mancal LOA da bomba, sem presença de frequências características de falha. Acompanhar evolução em rotina de coleta
BBA - P-1063B	10/11/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063B	08/12/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063B	12/01/2022	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063B	22/02/2022	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063B	09/03/2022	Equipamento em condição normal. Acompanhar região de baixa frequência
BBA - P-1063B	06/04/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis em região de alta frequência sem presença de frequências em destaque características de falha. Acompanhar evolução em rotina de coleta
BBA - P-1063B	11/05/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis e elevados atingindo 14gE, com destaque para componentes em região de alta frequência. Assinatura espectral demonstra destaque de frequências características de falha de rolamento no mancal LOA em baixa frequência temos indícios de folgas mecânicas com a mesma intensidade que se apresenta no motor e não temos a informação referente a descrição dos rolamentos aplicados neste modelo de bomba, Já executamos a relubrificação e não tivemos resultado satisfatório, necessário planejar intervenção.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 25 – Dados do Motor da P-1063B

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
MTR - P-1063B	07/07/2021	Equipamento em condição normal
MTR - P-1063B	15/09/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis no parâmetro de Velocidade (mm/s) com presença de múltiplos harmônicos da rotação caracterizando presença de folga no sistema. Amplitudes ainda consideradas aceitáveis.
MTR - P-1063B	15/09/2021	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063B	10/11/2021	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063B	08/12/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis no parâmetro de Velocidade (mm/s) com presença de múltiplos harmônicos da rotação e destaque em 2xRPM caracterizando presença de folga no sistema e desalinhamento. Acompanhar evolução em rotina de coleta.
MTR - P-1063B	12/01/2022	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063B	22/02/2022	Equipamento em condição normal. Acompanhar sintomas de folgas mecânicas no mancal LOA do motor e demais pontos de velocidade
MTR - P-1063B	09/03/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis em região de baixa frequência com presença de frequências características de folgas mecânicas. Acompanhar evolução em rotina de coleta
MTR - P-1063B	06/04/2022	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063B	11/05/2022	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063B	08/06/2022	Mantendo Status anterior

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 26 – Dados da Bomba da P-1063A

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
BBA - P-1063A	09/06/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063A	07/07/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063A	04/08/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063A	20/10/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063A	10/11/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração com presença de atrito excessivo observado em região de alta frequência. Realizar a troca da carga lubrificante da bomba e nova coleta de dados após concluir a tarefa. Acompanhar evolução em rotina de coleta de dados.
BBA - P-1063A	24/11/2021	Equipamento em condição normal. Acompanhar sintomas de folga mecânica.
BBA - P-1063A	08/12/2021	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063A	12/01/2022	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063A	09/02/2022	Equipamento em condição normal. Acompanhar oscilações em região de alta frequência
BBA - P-1063A	30/03/2022	Equipamento em condição normal. Acompanhar oscilações em região de alta frequência no mancal LOA da bomba
BBA - P-1063A	11/05/2022	Equipamento em condição normal
BBA - P-1063A	08/06/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis com presença de atrito excessivo em região de alta frequência. Realizar a troca da carga lubrificante da bomba ou lubrificação dos mancais (conforme projeto) e nova coleta de dados de vibração após concluir a tarefa. Acompanhar evolução em rotina de coleta de dados.

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 27 – Dados do Motor da P-1063A

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
MTR - P-1063A	09/06/2021	Equipamento em condição normal
MTR - P-1063A	07/07/2021	Equipamento em condição normal
MTR - P-1063A	04/08/2021	Equipamento em condição normal
MTR - P-1063A	15/09/2021	Equipamento em condição normal
MTR - P-1063A	20/10/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis em região de baixa frequência com características de folga mecânica e problemas na região de transmissão (acoplamento). Acompanhar evolução em rotina de coleta
MTR - P-1063A	10/11/2021	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063A	24/11/2021	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063A	08/12/2021	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063A	12/01/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis em região de baixa frequência com características de folga mecânica e problemas na região de transmissão (acoplamento). Acompanhar destaque em 4XRPM. Acompanhar evolução em rotina de coleta
MTR - P-1063A	09/02/2022	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063A	30/03/2022	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063A	27/04/2022	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063A	11/05/2022	Mantendo Status anterior
MTR - P-1063A	08/06/2022	Equipamento em condição normal. Acompanhar sintomas de folgas

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Tabela 28 – Dados do Motor do A-1050

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
MTR - A-1050	02/06/2021	Equipamento em condição normal
MTR - A-1050	07/07/2021	Equipamento em condição normal
MTR - A-1050	04/08/2021	Equipamento em condição normal
MTR - A-1050	15/09/2021	Equipamento em condição normal
MTR - A-1050	20/10/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração em evolução exponencial crescente com característica de defeito nos rolamentos do motor. Acompanhar evolução em rotina de coleta.
MTR - A-1050	27/10/2021	Equipamento apresentando níveis de vibração em evolução exponencial crescente em região de alta frequência, com aumento expressivo do nível de atrito e frequências de desgaste em BPFO (Pista Externa) caracterizando desgaste dos rolamentos do motor.
MTR - A-1050	10/11/2021	Mantendo Status anterior
MTR - A-1050	08/12/2021	Realizada a troca do motor elétrico e nota-se regressão dos níveis de vibração. Equipamento em condição normal
MTR - A-1050	22/12/2021	Equipamento em condição normal
MTR - A-1050	12/01/2022	Equipamento em condição normal
MTR - A-1050	02/02/2022	Equipamento em condição normal. Acompanhar ligeira elevação no mancal LA em região de alta frequência
MTR - A-1050	09/03/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração em evolução linear crescente com destaque em frequências características de folga mecânica. Acompanhar também região de alta frequência com relação a atrito dos componentes dos rolamentos. Acompanhar evolução em rotina de coleta
MTR - A-1050	06/04/2022	Equipamento com diagnóstico recorrente e apresentando novamente evolução linear crescente em região de alta frequência, com aumento expressivo do nível de atrito e presença de destaque em BPFi e BPFO (Pista Interna e Externa) dos rolamentos do motor.
MTR - A-1050	18/04/2022	Relatório indica que foi realizada a troca do motor e rolamentos do adaptador de motores. Inspeção interna do redutor identificou contaminante (água), porém condição dos engrenamentos esta preservada.
MTR - A-1050	20/04/2022	Equipamento passou novamente por intervenção com resultado não satisfatório.
MTR - A-1050	11/05/2022	Mantendo Status anterior
MTR - A-1050	08/06/2022	Equipamento passou por nova troca do motor sem a regressão esperada, permanecendo sintomas de atrito elevados e atualmente temos destaque de 12Hz que amplifica os sinais em todo o conjunto.
MTR - A-1050	15/06/2022	Mantendo Status anterior
MTR - A-1050	22/06/2022	Equipamento em monitoramento ostensivo em plano de ação. Motor passou por nova troca sem a regressão esperada dos níveis e diminuição do atrito excessivo que ainda persiste na região.
MTR - A-1050	29/06/2022	Mantendo Status anterior

Tabela 29 – Dados do Agitador do A-1050

TAG	DATA	DIAGNÓSTICO
RED - A1050	02/06/2021	Equipamento em condição normal
RED - A1050	07/07/2021	Equipamento em condição normal
RED - A1050	04/08/2021	Equipamento em condição normal
RED - A1050	15/09/2021	Equipamento em condição normal
RED - A1050	27/10/2021	Níveis de vibração alterados em função da evolução exponencial observada no motor. Nota será aberta para correção. Acompanhar evolução em rotina de coleta
RED - A1050	10/11/2021	Níveis de vibração alterados em função da evolução exponencial observada no motor. Nota aberta para correção no adaptador pois foi nos informado que o motor é novo. Não temos dados técnicos para o mapeamento do componente em falha. Acompanhar evolução em rotina de coleta
RED - A1050	08/12/2021	Realizada a troca do motor elétrico em comum acordo em função da nota aberta no adaptador de motores e nota-se regressão considerável dos níveis de vibração em todo o conjunto. Equipamento em condição normal
RED - A1050	22/12/2021	Equipamento em condição normal
RED - A1050	12/01/2022	Equipamento em condição normal
RED - A1050	02/02/2022	Equipamento em condição normal. Acompanhar evolução em rotina de coleta
RED - A1050	09/03/2022	Equipamento em condição normal. Acompanhar elevação na região de entrada do redutor com sintomas de folgas, possivelmente transmitidas do motor que apresenta evolução linear crescente.
RED - A1050	06/04/2022	Equipamento apresentando níveis de vibração instáveis em alguns pontos do redutor. Acompanhar sintomas de folgas mecânicas em função da componente de rotação de entrada, possivelmente transmitidas do motor e/ou adaptador que apresentam evolução linear crescente com amplitudes passíveis para nova atuação.
RED - A1050	20/04/2022	Mantendo Status anterior
RED - A1050	11/05/2022	Mantendo Status anterior
RED - A1050	08/06/2022	Equipamento passou por nova troca do motor sem a regressão esperada, permanecendo sintomas de atrito elevados e atualmente temos destaque de 12Hz que amplifica os sinais em todo o conjunto.
RED - A1050	15/06/2022	Mantendo Status anterior
RED - A1050	22/06/2022	Equipamento em monitoramento ostensivo em plano de ação. Motor passou por nova troca sem a regressão esperada dos níveis e diminuição do atrito excessivo que ainda persiste na região do motor/adaptador/eixo de entrada do redutor.
RED - A1050	29/06/2022	Mantendo Status anterior