



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Cassandra Raquel Vieira Braz

**PLANEAMENTO DA MANUTENÇÃO E  
MANUTENÇÃO PREVENTIVA NUMA EMPRESA  
DE PRODUÇÃO DE PAPEL DE ALTA GRAMAGEM**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, na especialidade de  
Energia e Ambiente orientada pelo Professor Doutor Amílcar Ramalho e pelo  
Engenheiro Nuno Matos e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica  
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.**

setembro de 2022



1 2



9 0

FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

# **Planeamento da manutenção e manutenção preventiva numa empresa de produção de papel de alta gramagem**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

## **Maintenance planning and preventive maintenance in a heavyweight paper production company**

**Autor**

**Cassandra Raquel Vieira Braz**

**Orientadores**

**Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho**

**Engenheiro Nuno Matos**

**Júri**

**Presidente** Professor Doutor Luís Miguel Cardoso Vilhena Pereira da Silva

Professor da Universidade de Coimbra

**Orientador** Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho

Professor da Universidade de Coimbra

**Engenheiro Nuno Matos**

Prado – Cartolinas da Lousã, S.A.

**Vogais** Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho

Professor da Universidade de Coimbra

Professor Doutor João Paulo da Silva Gil Nobre

Professor da Universidade de Coimbra

**Colaboração Institucional**

---



Prado – Cartolinas da Lousã, S.A.

**Coimbra, setembro, 2022**



Portanto, a tarefa não é apenas ver o que ninguém viu, mas também pensar o que ninguém pensou sobre o que todos vêem.

Arthur Schopenhauer



## Agradecimentos

A realização deste trabalho bem como de todo o meu percurso académico, apenas foi possível com a colaboração e o apoio de algumas pessoas, às quais devo um especial agradecimento.

Ao Professor Doutor Amílcar Ramalho, por toda a disponibilidade e orientação ao longo deste projeto.

Ao meu orientador da Prado – Cartolinas da Lousã, S.A., o engenheiro Nuno Matos, pelos conhecimentos transmitidos, pela disponibilidade, dedicação e paciência durante todo o estágio, bem como aos restantes elementos da equipa de direção do Serviço de Manutenção e Energia, o engenheiro Arménio Verga e o engenheiro André Albino, pelos conselhos, sugestões e constante motivação. Aos três, um grande obrigado por todo o companheirismo, ajuda e por nunca deixarem que uma pergunta ficasse sem resposta.

A todos os restantes colaboradores da Prado – Cartolinas da Lousã, S.A., que de forma direta e indireta contribuíram, com a sua motivação, simpatia e amor que demonstram na empresa que ajudaram a crescer.

Aos meus pais, pelos princípios e valores transmitidos, que me tornaram a pessoa que sou, por me apoiarem e por me proporcionarem as condições para a realização destes 5 anos.

Por último, à Francisca, por fazer jus em todos os sentidos à palavra “amizade”.



## Resumo

Com a evolução do mundo tecnológico e o conseqüente aumento de competitividade do mercado, a manutenção preventiva e o bom planeamento desta, tornaram-se fulcrais para a continuidade e crescimento das empresas. Um bom alicerce para a aplicação deste tipo de manutenção são as diversas técnicas de diagnóstico atualmente disponíveis.

A presente dissertação teve como objetivo, o estudo do modo de implementação de uma dessas técnicas, a análise de vibrações, na Prado – Cartolinas da Lousã, S.A., tendo-se para tal, iniciado com uma profunda observação e pesquisa do modo de funcionamento do Serviço de Manutenção e Energia, desde a sua organização estrutural até aos diversos tipos de técnicas de manutenção preditiva utilizados pela empresa. De seguida, realizou-se uma investigação acerca da manutenção preventiva, da análise de vibrações e do funcionamento do equipamento de medida das vibrações. Após a escolha de três equipamentos do setor da depuração da mesa inferior, sendo eles três conjuntos motor-bomba de mistura, executaram-se diversas medições de vibração nestes e procedeu-se a uma análise dos seus históricos.

Uma vez que no decorrer do estágio, ocorreram duas situações de avaria nas quais a análise de vibrações foi fundamental, escolheu-se integrá-las no presente trabalho.

Terminada a análise da aplicação da técnica foi possível acompanhar a elaboração dos cadernos de encargos relativos à paragem geral deste ano, tendo-se verificado como a técnica de análise de vibrações é um grande contributo para o diagnóstico de anomalias e conseqüentemente para a execução de um melhor planeamento das intervenções.

Foi então possível concluir, que esta técnica estando tal como verificado, corretamente aplicada, é uma mais valia para a empresa. É, no entanto, possível realizar pequenas melhorias tanto relacionadas com a análise de vibrações, como com o Serviço de Manutenção e Energia em geral.

**Palavras-chave:** Manutenção Preventiva, Planeamento da Manutenção, Lubrificação, Análise de Vibrações, Prado – Cartolinas da Lousã, S.A..



## Abstract

With the evolution of the technological world and the consequent increasement of the market competitiveness, a preventive maintenance and a good planning of it, became primordial to the continuity and growth of companies. A good foundation to this type of maintenance application are the diverse diagnostic techniques currently available.

The present dissertation had as objective, the study of the implementation mode of one of these techniques, the vibration analysis, in Prado Cartolinas da Lousã, S.A., having to do so, began with a deep observation and research of the operating mode of the Maintenance and Energy Service, from its structural organization to the different types of predictive maintenance techniques, used by the company.

Then, an investigation about preventive maintenance, vibration analysis and the functioning of the vibration measuring equipment took place. After choosing three equipment from the inferior table depuration sector, being it three mixture motor-pump sets, several vibration measurements were performed and an analysis of its histories was carried out.

During the internship two failure situations occurred, in which the vibration analysis was fundamental. It was chosen to integrate it in the present work.

After the analysis of the technique application, it was possible to follow the preparation of the contract documents for the annual maintenance stop, having verified how the vibration analysis is a huge contribute for anomalies diagnostic and consequently for a better intervention planning execution.

It was possible to conclude that this technique being as verified, correctly applied, is an added value to the company. However, it is possible to make small improvements both related to vibration analysis and to the Maintenance and Energy Service in general.

**Keywords:** Preventive Maintenance, Maintenance Planning, Lubrication, Vibration Analysis, Prado – Cartolinas da Lousã, S.A..



## Índice

Índice de Figuras .....	ix
Índice de Tabelas .....	xi
Siglas .....	xiii
Siglas .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Objetivos .....	1
1.2. Metodologia .....	1
1.3. Estrutura da dissertação .....	2
2. PRADO – CARTOLINAS DA LOUSÃ, S.A. ....	3
2.1. História .....	3
2.2. Produtos .....	5
2.3. Processo de fabrico .....	5
3. ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	7
3.1. Definição de manutenção .....	7
3.2. Objetivos da manutenção .....	7
3.3. Tipos de manutenção .....	9
3.3.1. Manutenção Corretiva .....	9
3.3.2. Manutenção Preventiva .....	10
3.4. Manutenção condicionada por análise de vibrações .....	13
3.5. Lubrificação .....	17
3.6. Planeamento da manutenção .....	19
4. SITUAÇÃO ATUAL .....	23
4.1. Serviço de Manutenção e Energia .....	23
4.2. Inspeção de anomalias .....	23
4.3. Planeamento e execução de intervenções .....	25
5. TRABALHO DESENVOLVIDO .....	27
5.1. Equipamentos em estudo .....	27
5.1.1. Conjunto motor-bomba 1ª fase depuração mesa inferior .....	27
5.1.2. Conjunto motor-bomba 2ª fase depuração mesa inferior .....	28
5.1.3. Conjunto motor-bomba 3ª fase depuração mesa inferior .....	29
5.1.4. Conjunto motor-bomba vazamento tinão de mistura .....	30
5.1.5. Chumaceira nº12 veio geral .....	30
5.2. Análise de vibrações .....	31
5.2.1. Equipamento de medida .....	32
5.2.2. Análise da medição atual .....	38
5.2.3. Planeamento da manutenção .....	51
5.2.4. Proposta de melhorias .....	55
6. CONCLUSÕES .....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59

ANEXO A.....	61
.....	63
APÊNDICE A.....	65
APÊNDICE B.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Tipos de manutenção, adaptado da norma EN 13306:2007 [4] .....	9
Figura 3.2. Características duma onda sinusoidal [8].....	14
Figura 3.3. Orifício introdução de óleo .....	18
Figura 3.4. Copo de nível .....	18
Figura 3.5. Copo de lubrificação com conta-gotas.....	18
Figura 3.6. Pino de lubrificação.....	18
Figura 5.1 Conjunto motor-bomba mistura 1ª fase mesa inferior .....	27
Figura 5.2. Conjunto motor-bomba mistura 2ª fase mesa inferior .....	28
Figura 5.3. Conjunto motor-bomba mistura 3ª fase mesa inferior .....	29
Figura 5.4. Conjunto motor-bomba vazamento tinão de mistura.....	30
Figura 5.5. Chumaceira nº12 veio geral .....	31
Figura 5.6. Leonova™ <i>Infinity</i> , SPM Instrument AB [15].....	32
Figura 5.7. Intervalos de gravidade de vibração segundo ISO 2372:1974 [16] .....	36
Figura 5.8. Monitorização vibração – acelerómetro piezoelétrico [15] .....	37
Figura 5.9. Monitorização pulso de choque – transdutor piezoelétrico [15].....	37
Figura 5.10. Posição de medida do transdutor piezoelétrico [15] .....	38
Figura 5.11. Posição de medida do acelerómetro piezoelétrico [15].....	38
Figura 5.12. Marcações dos pontos de medição .....	40
Figura 5.13. Medição em motor elétrico .....	40
Figura 5.14. Pontos de medição dum conjunto motor-bomba.....	41
Figura 5.15. Medição com transdutor de piezoelétrico numa bomba .....	42
Figura 5.16. Medição com transdutor piezoelétrico num motor .....	42
Figura 5.17. Medição horizontal com acelerómetro piezoelétrico .....	42
Figura 5.18. Medição vertical com acelerómetro piezoelétrico .....	42
Figura 5.19. Descrição da classe II de vibração da norma ISO 2372 [17] .....	42
Figura 5.20. Zonas de gravidade de vibração classe II da norma ISO 10816-3 [18] .....	43
Figura 5.21. Medição vertical pulso de choque chumaceira nº12 .....	47
Figura 5.22. Medição horizontal pulso de choque chumaceira nº12.....	47
Figura 5.23. Danos na pista externa do rolamento do lado oposto ao acoplamento .....	48
Figura 5.24. Rotura no rolamento do lado oposto ao acoplamento do tinão de mistura .....	48

Figura 5.25. Lista com valores de medição obtidos gerada por SPM Condmaster®Nova. 53

Figura 5.26. Lista com valores de medição obtidos gerada por SPM Condmaster®Nova. 53

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1. Características do conjunto motor-bomba mistura 1ª fase mesa inferior .....	28
Tabela 5.2. Características do conjunto motor-bomba mistura 2ª fase mesa inferior .....	29
Tabela 5.3. Características do conjunto motor-bomba mistura 3ª fase mesa inferior .....	29
Tabela 5.4. Características do conjunto motor-bomba vazamento tinão de mistura.....	30
Tabela 5.5. Características da chumaceira nº12 veio geral .....	31
Tabela 5.6. Funções Leonova™ <i>Infinity</i> .....	33
Tabela 5.7. Simbologia para análise dos valores de vibração obtidos .....	52



## **SIGLAS**

### **Siglas**

DI/SME – Direção Industrial/Serviço de Manutenção e Energia

BPFO – Ball Pass Frequency Outer

BPFI – Ball Pass Frequency Inner

BPFIM – Ball Pass Frequency Inner Modulated

BSF- Ball Spin Frequency

BSFM- Ball Spin Frequency Modulated

FTF- Fundamental Train Frequency

RMS – Root Mean Square

SPM – Shock Pulse Method

A – Acoplamento

OA – Oposto Acoplamento



## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos, com o desenvolvimento de novas tecnologias e o com o aumento da competitividade do mercado, o foco das empresas tem-se tornado o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção, com vista a aumentar as margens de lucro. Tal acontecimento, tem promovido uma reformulação no conceito de manutenção, primando a manutenção do tipo preventiva. A aplicação correta de diversas técnicas de diagnóstico e um bom planeamento são fundamentais para uma manutenção eficiente.

A presente dissertação foi realizada no âmbito de um estágio curricular numa empresa especializada na produção de papel de alta gramagem, a Prado – Cartolinas da Lousã, S.A., tendo sido uma mais valia tanto para a minha formação académica, como para a minha formação pessoal. Para além do trabalho desenvolvido, foi-me possível compreender e observar todo o processo de fabricação deste tipo de papel.

### 1.1. Objetivos

Dado o problema exposto anteriormente, o presente trabalho tem como objetivo, a análise e otimização duma técnica de manutenção preventiva utilizada pela Prado – Cartolinas da Lousã, S.A., de modo a obter um adequado planeamento da manutenção. A técnica em questão é a análise de vibrações, aplicada em especial a três conjuntos motor-bomba de mistura do setor da depuração e a dois equipamentos que durante a realização do estágio apresentaram avarias.

### 1.2. Metodologia

Para a obtenção dos objetivos pretendidos no presente estudo, é necessário adotar um procedimento que se desenvolve da seguinte forma:

1. Pesquisa e estudo da bibliografia existente;
2. Recolha de informação do aparelho de medição das vibrações e do histórico das medições;
3. Realização de medições de vibração para análise de valores e do modo de aplicação da técnica;

4. Comparação da informação obtida com as normas correspondentes;
5. Utilização dos dados recolhidos para o planeamento da manutenção;

### **1.3. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação divide-se em 5 capítulos. Um capítulo introdutório que contém um breve resumo do tema em estudo, bem como a identificação dos objetivos e da metodologia utilizada na realização do trabalho. Um segundo capítulo onde é feita uma apresentação da empresa, com o relato da sua história, produtos e o seu processo de fabrico. Um terceiro capítulo com um enquadramento teórico mais detalhado, relativo às metodologias utilizadas para a execução dos objetivos previamente definidos. Aqui são descritos conceitos base sobre manutenção, prestando especial atenção à manutenção do tipo preventiva, bem como ao seu planeamento. Um quarto capítulo que aborda o trabalho desenvolvido, através duma análise dos procedimentos atualmente utilizados pela empresa e da sugestão de técnicas de otimização dos mesmos.

Por fim, um quinto capítulo com as conclusões do trabalho desenvolvido ao longo do estágio.

## **2. PRADO – CARTOLINAS DA LOUSÃ, S.A.**

A Prado – Cartolinas da Lousã, S.A. é uma empresa portuguesa com mais de 300 anos de história, dedicada ao desenvolvimento, produção e comercialização de papel de alta gramagem reconhecido pela sua qualidade. A sua produção é esmagadoramente destinada a exportação (85% da produção em 2020), sendo líder ibérica na produção de papel de alta gramagem. [1] Operando a nível global e estando presente em cerca de 50 países, a Prado – Cartolinas da Lousã, S.A., apresenta uma gama de produtos ajustada às exigências do mercado.

Ao longo dos tempos a empresa soube adaptar-se a inúmeros desafios empresariais, tendo atualmente um total de 120 trabalhadores e uma capacidade de produção de aproximadamente 25 000 toneladas de papel, com recurso às tecnologias mais avançadas e a rigorosos métodos de controlo de qualidade. [1]

É importante destacar que a Prado – Cartolinas da Lousã, S.A. segue uma política de gestão integrada, onde prima a satisfação dos seus clientes, com recurso a produtos e serviços numa perspetiva de proteção do ambiente e a valorização das pessoas como pilar do sucesso da empresa.

### **2.1. História**

Exibindo a Prado – Cartolinas da Lousã, S.A., o título de mais antiga fábrica de papel do país, importa destacar o seu percurso ao longo dos anos.

Tudo começa algures no século XVII, com a instalação do primeiro engenho de papel no lugar do Penedo. Apesar da data concreta da sua origem não ser conhecida, a 1698 há registo do papel produzido na Lousã.

Contudo, só no início do século XVIII, o genovês José Maria Ottone consegue obter de D. João V, o alvará régio para instalar a fábrica na Lousã. A proximidade à Universidade de Coimbra e a água em quantidade e qualidade, terão sido dois fatores que levaram à criação desta fábrica neste local.

A 10 de junho de 1875 é constituída a Companhia do Papel do Prado, S.A., que dura até 2003. Nesta Companhia estavam incluídas diversas unidades fabris que sob este grupo ultrapassaram regimes, Monarquia e República, e as duas grandes guerras mundiais.

No ano de 1974 a Companhia do Papel do Prado, S.A. integra o Grupo Portucel no resultado dum processo de nacionalização.

A máquina de produção sofre uma grande modernização em 1986, sendo em 1994 introduzida uma segunda mesa plana no processo de produção.

Um ano após ter recebido a Certificação do Sistema de Gestão da Qualidade, NP EN ISO 9002:1994, em 1998 a empresa adquire um gerador de vapor com cogeração, um sistema de alimentação do *pulper* e uma linha de fibra secundária, com vista melhorar o aparelho produtivo. Neste mesmo ano é adquirida uma gofradora que permite a introdução de papel texturizado, no mercado da Companhia do Papel do Prado, S.A.

A Companhia do Papel do Prado, S.A. é adquirida por investidores privados em 1999, focando os três anos seguintes, na criação duma resposta aos desafios ambientais e de eficiência energética e no desenvolvimento tecnológico da produção.

No ano de 2003, após a cisão da Companhia do Papel do Prado, S.A, é constituída a Prado - Cartolinas da Lousã, S.A. e obtida a certificação do Sistema de Gestão da Qualidade, NP EN ISO 9001:2000.

Em 2005 e 2006, são realizados relevantes investimentos ao nível da modernização do computador de processo, da reutilização do efluente fabril /redução do consumo água fresca e da remodelação dos circuitos cabeça de máquina e mesas de fabricação. [1]

Ao longo dos seis anos seguintes, a Prado – Cartolinas da Lousã, S.A. obtém diversas certificações e licenças, tais como a Certificação do Sistema de Gestão da Qualidade (NP EN ISO 9001:2008) em 2009, a Certificação do Sistema de Gestão Ambiental (NP EN ISO 14001:2004), a Certificação do Sistema de Gestão Ambiental (NP EN ISO 14001:2004) em 2010 ou a Certificação da cadeia de responsabilidade florestal (FSC-STD-40-004 e PEFC ST 2002:2010) em 2012.

É de destacar que em 2008 são realizados diversos investimentos, nomeadamente a remodelação das prensas húmidas, e em 2012, é instalado um novo gerador de vapor mais eficiente e remodelada a cortadeira com vista a aumentar a capacidade de corte.

O produto Prado Digital é lançado em 2013 como resposta às novas tendências do mercado e do mundo.

Em 2017 dá-se a atualização do QCS (*quality control system*) e DCS (*distributed control system*), resultando numa centralização dos dados de controlo de processo e na melhoria do interface e funcionalidades do mesmo. [1] Neste mesmo ano obtém-se a

transição das certificações do Sistema de Gestão da Qualidade e do Sistema de Gestão Ambiental para as normas NP EN ISO 9001:2015 e NP ISO 14001:2015, respetivamente.

O primeiro Relatório de Sustentabilidade é criado em 2021 de modo a formalizar os princípios, políticas e práticas estabelecidas.

## 2.2. Produtos

Seguindo a filosofia “*Papers you can trust*”, a Prado - Cartolinas da Lousã, S.A. compromete-se a desenvolver e produzir produtos de acordo com as necessidades dos clientes, incentivando de igual modo a melhoria contínua do setor interno.

Como já referido, a Prado - Cartolinas da Lousã, S.A. dedica-se à produção de papel de alta gramagem (acima de 120 g/m<sup>2</sup>), com diversas aplicações e mercados. Os seus produtos vão desde a mais comercializada, cartolina Bristol, até soluções de *packaging*, passando por papel para impressão gráfica, escolar e de desenho.

A possibilidade de escolher uma de entre as 32 cores disponíveis, texturizadas ou não, ou escolher entre os produtos *standard* em pacote ou em meia palete são exemplos da ambição da Prado - Cartolinas da Lousã, S.A. em se ajustar às necessidades dos clientes.

Além de se focar nas necessidades dos clientes, a Prado - Cartolinas da Lousã, S.A. dá elevada importância às questões ambientais. Um exemplo disso, é a recente gama *Food Contact* que inclui 3 produtos, Albus, Prado Natura e CLK. Esta gama é destinada a embalagens a nível do setor alimentar surgindo maioritariamente do *know-how* interno, de forma a responder à diminuição do consumo de papel e substituição pelo digital.

Por último, a gama *Lousan Art* é a coleção de papéis artísticos, com texturas e gramagens que permitem a aplicação de diversas técnicas. Para técnicas secas são recomendados produtos até 200 g/m<sup>2</sup> e para técnicas húmidas produtos com gramagens acima de 200 g/m<sup>2</sup>. [1]

É importante salientar que todas as gamas de produtos da empresa têm um nome com significado especial quer seja para os trabalhadores, quer seja para a região envolvente.

## 2.3. Processo de fabrico

Todo o processo de fabrico se inicia com a desintegração de pastas virgens ECF ou TCF, procedentes de florestas sustentáveis. A estas é adicionada água fresca, corantes,

branqueamento ótico de massa e água reaproveitada de todo o processo (chamadas águas coladas), formando uma massa. Após a sua passagem em dois tinões, onde é agitada, diluída e regulada a sua consistência através da introdução de águas coladas, num despastilhador e num refinador que orienta o sentido das fibras da pasta, a massa segue para o tinão de mistura onde é efetuada nova regulação de consistência.

Já no tinão de máquina, esta massa juntamente com aquela reaproveitada da água que cai no fosso do cilindro aspirante, é misturada e enviada, após medição e regulação de consistência, para uma caixa de nível onde, por gravidade, é distribuída para os dois processos de depuração, um da mesa superior e um da mesa inferior.

Terminada a depuração da massa e adicionados o amido catiónico e o carbonato de cálcio, esta chega à caixa de chegada das respetivas mesas onde é colocada uniformemente em teias que assentam sobre caixas responsáveis pela retenção do excesso de água. Tal água, é retirada à massa tanto por gravidade como por vácuo. Após a passagem por estas caixas, as duas teias encontram-se no rolo casamenteiro, onde as duas superfícies são juntas dando origem a uma única folha. Para isto, a teia passa por um cilindro aspirante onde é retirado um pouco mais de água e onde ocorre a passagem da folha, da teia para o feltro. Este feltro conduz a folha através de três prensas, absorvendo ao mesmo tempo a água que se desloca para a superfície da folha através da prensagem. Neste momento, a folha encontra-se com a consistência suficiente para entrar na primeira secaria, denominada pré-secaria. Nos 17,80 metros de rolos secadores, onde é injetado vapor gerado numa central térmica, o papel circula a uma velocidade que varia entre 90 e 190 m/min.

Chegado o fim da pré-secaria, a folha passa na *size-press*, equipamento onde são adicionados agentes de colagem superficial e, em cores mais escuras, um complementar de corante. De seguida, é encaminhada para a segunda fase de secagem, onde circula por entre rolos de um maior diâmetro. Ao sair da secagem, o papel é arrefecido através de dois cilindros que no seu interior podem ou não conter água fria, dependendo da quantidade de humidade que o papel em fabrico apresenta. Dirige-se de seguida para a calandra que é utilizada ou não de acordo com as especificações do produto final pretendidas. Daqui o papel segue para a enroladeira onde são feitas as bobines, sendo primeiro sujeito à passagem dum scanner que efetua leituras, em tempo real, das suas propriedades físicas, tais como, humidade, gramagem, lisura e cinzas.

### **3. ENQUADRAMENTO TEÓRICO**

Uma empresa apenas é capaz de prosperar com a operacionalidade dos seus equipamentos, uma vez que estes garantem a prestação de serviços e a geração de valor.

No âmbito industrial, o setor da manutenção enfrenta diariamente desafios, quer provocados pelo desenvolvimento, quer pelo surgimento de novas tecnologias do mercado mais eficientes, que levam à redução dos custos de produção. As empresas veem-se assim numa busca constante de melhorias a nível do trinómio Qualidade/Custo/Prazo: aumento da produtividade e da qualidade dos produtos, redução dos custos e prazos da produção.

Para esta melhoria contínua, é indispensável um bom planeamento da manutenção, uma vez que esta tem um papel fundamental no ciclo de vida dos equipamentos, permitindo melhorar o desempenho e disponibilidade destes, e consequentemente controlar a qualidade dos produtos obtidos e os custos relacionados com as falhas dos equipamentos. Não obstante, todo este procedimento deve ser realizado com a interação direta ou indireta de diversos setores da empresa.

Este capítulo passará essencialmente por abordar alguns princípios da manutenção, nomeadamente a definição, objetivos, tipos, técnicas e planeamento.

#### **3.1. Definição de manutenção**

De acordo com a Norma Europeia, EN 13306:2007, manutenção é definida como “a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa cumprir a função requerida.”, entendendo-se por “bem qualquer elemento, componente, aparelho, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente”.

#### **3.2. Objetivos da manutenção**

Segundo Cabral (2006) [2], os objetivos da manutenção industrial devem estar bem definidos e ser compatíveis com os objetivos da empresa, uma vez que a manutenção afeta a rentabilidade do processo produtivo bem como a sustentabilidade da atividade. Por um lado, melhora o desempenho e a disponibilidade do equipamento, por outro, acresce aos

custos de funcionamento. O setor da manutenção deve como tal, encontrar o ponto de equilíbrio entre o benefício e o custo, de modo a maximizar o contributo positivo da manutenção para a rentabilidade geral da empresa.

No passado, adotava-se uma manutenção baseava na reparação do equipamento apenas quando este se avariava. Atualmente, é seguido um tipo preventivo, que assenta no prolongamento da vida eficaz do equipamento através do asseguramento das suas condições de funcionamento, tendo sempre em atenção de que as operações sejam realizadas com um custo global mínimo e segurança.

De entre os objetivos da manutenção citados por diversos autores destacam-se os seguintes:

- **Garantir maior segurança** - assegurar a segurança dos operadores e dos equipamentos, criando condições que permitam detetar, avaliar e controlar potenciais riscos;
- **Aumentar a disponibilidade dos equipamentos** - maximizar o rendimento do equipamento. A manutenção deve garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações, a fim de evitar tempos de paragem e favorecer o crescimento da produtividade;
- **Evitar imprevistos** - parte do trabalho da manutenção é estar a par da situação de todos os equipamentos, conseguindo prever com melhor certeza os períodos de intervenção;
- **Impedir danos maiores** – a manutenção deve alertar e garantir que danos maiores não ocorram, por exemplo, através da realização de inspeções. Isto irá permitir um aumento da segurança e reduzir os custos de operação;
- **Reduzir custos de operação** – garantir segurança e qualidade, aumentar a disponibilidade, evitar imprevistos e impedir danos, tem impacto direto no orçamento da manutenção. Se for efetuada uma manutenção regular nos equipamentos, estes irão funcionar eficientemente, reduzindo os custos da produção e a necessidade de serem intervencionados em reparações que poderiam derivar de manutenção não realizada;
- **Garantir qualidade** – assegurar que um equipamento funciona nas melhores condições de higiene e proteção ambiental e realizar a sua manutenção, melhora os

níveis de desempenho destes, garantindo o seu rendimento máximo e a redução de defeitos. O produto chegará assim ao cliente com a qualidade prometida.

Sendo a disponibilidade dos equipamentos, uma característica tão importante para a manutenção, torna-se fundamental defini-la corretamente. Para Ramalho (2020) [3], disponibilidade ( $D$ ) é a probabilidade de assegurar um serviço prestado. Esta depende da fiabilidade, probabilidade de bom funcionamento e da manutenibilidade, probabilidade de duração de reparação, do equipamento. Podendo ser definida através da seguinte expressão:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3.1)$$

Sendo MTBF, a média dos tempos de bom funcionamento e MTTR, a média dos tempos técnicos de reparação.

Como podemos ver, todos os objetivos se relacionam entre si estando sempre assentes no grande objetivo de melhorias a nível do trinómio Qualidade/Custo/Prazo.

### 3.3. Tipos de manutenção

De acordo com a norma EN 13306:2007, quando falamos em manutenção, podemos falar em dois tipos: preventiva e corretiva. Os dois tipos são caracterizados pela forma como são realizadas as intervenções nos equipamentos, figura 3.1.

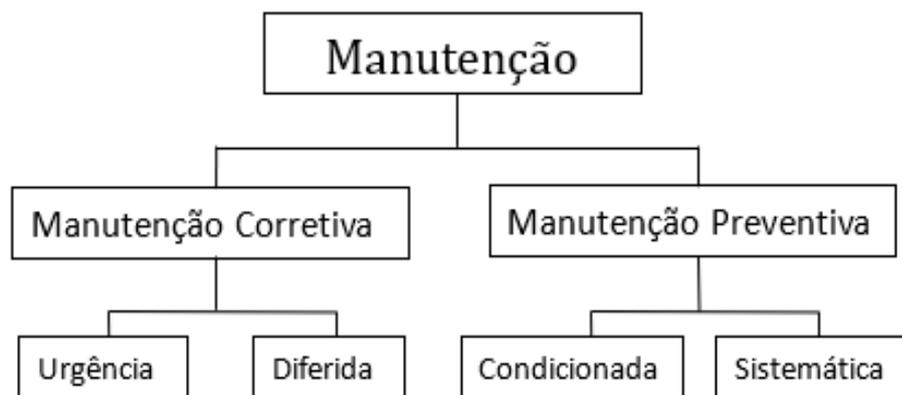


Figura 3.1. Tipos de manutenção, adaptado da norma EN 13306:2007 [4]

#### 3.3.1. Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é efetuada após a deteção de uma avaria. Apesar de não ser planeada, no caso do tipo de avaria ser frequente e/ou a sua resolução for demorada, as ações

realizadas podem ser preparadas antecipadamente. Segundo a Norma Europeia, EN 13306:2007, este tipo de manutenção destina-se a colocar o equipamento num estado em que possa realizar as funções para as quais foi concebido.

Através do registo das intervenções realizadas, no histórico do equipamento, é possível fazer um estudo sobre a causa da avaria e decidir se será vantajoso colocar este fator no plano da manutenção preventiva.

Este tipo de manutenção só deve ser executado quando os custos da perda de produção provocados pela avaria são mínimos e os incidentes não interferem com a segurança.

As ações de manutenção corretiva dizem-se do tipo paliativo quando as correções são realizadas com um carácter provisório e do tipo curativo no caso de serem realizadas com carácter definitivo.

A manutenção corretiva do tipo paliativo, costuma ser efetuada no local, com reposição do estado de funcionamento e sempre que possível sem a interrupção da produção. Contudo, esta ação carece sempre de uma intervenção posterior de carácter definitivo.

A manutenção corretiva do tipo curativo, de acordo com o equipamento, pode ser efetuada no local ou numa oficina. Está destinada a equipamentos cuja indisponibilidade tenha pouca importância na produção.

Por muito planeada que seja a manutenção, existirão sempre avarias não previstas, onde será necessária a aplicação de medidas corretivas.

### **3.3.2. Manutenção Preventiva**

A manutenção preventiva é efetuada antes da ocorrência de uma previsível avaria. É prevista, preparada e planeada de forma a reduzir a probabilidade de falha de um equipamento ou a sua degradação.

A correta aplicação deste tipo de manutenção tem como vantagens:

- Maior fiabilidade e durabilidade do equipamento;
- Redução e regularização das cargas de trabalho;
- Aumento da segurança;
- Diminuição das paragens imprevistas;
- Melhoria da gestão de stocks;
- Redução dos custos de falha.

Segundo diversos autores, este tipo de manutenção divide-se em: condicionada e sistemática.

A manutenção condicionada é, segundo a norma europeia EN 13306:2007, “baseada na vigilância do funcionamento do bem e/ou dos parâmetros significativos desse funcionamento, integrando as ações daí decorrentes.” Esta vigilância pode ser feita de um modo contínuo ou através de verificações periódicas, prevendo avarias futuras.

Para Ramalho (2020) [5], a manutenção condicionada pode ser implementada de acordo com as seguintes fases:

- Seleção dos equipamentos a controlar;
- Técnicas de inspeção;
- Procedimentos de medida;
- Níveis de alarme;
- Equipamento de medida e sistema de tratamento de informação;
- Planeamento das inspeções/percursos;
- Formação de pessoal e aspetos organizativos.

A decisão da escolha dos equipamentos a controlar é feita com base no grau de criticidade do equipamento, no seu custo de reparação, no seu histórico de avarias e na segurança.

Quando falamos de manutenção condicionada falamos dum aumento do tempo de vida e da produtividade dos equipamentos, dum aumento da eficácia do controlo de peças de reserva e da diminuição dos custos de reparação. Contudo, falamos também da necessidade duma mão-de-obra especializada e num elevado custo dos aparelhos de diagnóstico.

Com o surgimento da Indústria 4.0, para este tipo de manutenção existe uma enorme variedade de tecnologias disponíveis capazes de monitorizar os equipamentos em tempo real. A recolha, o armazenamento e o tratamento de dados sobre o estado do equipamento feitas integralmente por máquinas, permite segundo Howells (2021) [5], maximizar o tempo de vida dos componentes, otimizar o tempo do técnico e acima de tudo prever possíveis falhas mesmo antes de estas ocorrerem, levando a uma tendência da sua adoção por parte de muitas empresas.

De entre as diversas técnicas de inspeção existentes, destacam-se a análise de vibrações, através dos valores dos níveis globais de vibração e dos espetros de frequências,

a análise de ruído, o controlo de desgaste, através da análise de óleos, e a análise de temperaturas, com recurso à termografia.

Com base nos valores obtidos nas medições de certos parâmetros associados ao funcionamento do equipamento e a sua comparação com os limites estabelecidos, são efetuadas intervenções de manutenção com paragens não regulares. Estes limites apesar de serem estabelecidos em normas, alteram-se com o funcionamento do equipamento, sendo o histórico do equipamento, o melhor recurso para a sua obtenção.

Uma vez que o modo de implementação da técnica de inspeção influencia o resultado das medições, é de elevada importância que, existam registos detalhados escritos dos procedimentos, que o pessoal responsável pela aplicação da técnica tenha formação acerca dos procedimentos e que seja verificada com regularidade a execução de boas práticas.

A periodicidade das medidas deve ser feita com base no histórico de avarias do equipamento e ajustada ao longo do funcionamento. Este intervalo deve ser curto o suficiente, para permitir que se detete a evolução duma avaria, mas suficientemente grande para não provocar gastos excessivos. Ramalho (2020) [5] defende que o limite mínimo da periodicidade de inspeções este deve ser tal que possibilite pelo menos 6 inspeções entre avarias.

A manutenção sistemática é, segundo a norma europeia EN 13306:2007, “a manutenção preventiva executada a intervalos de tempo preestabelecidos ou segundo um número definido de unidades de funcionamento, sem controlo prévio do estado do bem”, tendo sempre uma pequena porção de manutenção corretiva.

Este tipo de manutenção permite uma fácil gestão, tanto a nível financeiro, uma vez que os custos das intervenções podem ser calculados de antemão, como a nível do seu planeamento, uma vez que cada operação pode ser programada de acordo com a produção.

No entanto, tendo em conta a elevada periodicidade de intervenções, existem diversas desvantagens associadas à aplicação da manutenção sistemática: os custos de manutenção são mais elevados, existe um desperdício de potencial de utilização dos componentes e existe maior possibilidade de erro humano.

Sendo as intervenções realizadas com paragens em intervalos de tempo regulares, para Ramalho (2020) [7] torna-se necessário um estudo dos diferentes períodos de intervenção sistemática dos equipamentos. Inicialmente, é utilizada a informação fornecida pelo fabricante e de seguida a informação recolhida por visitas preventivas ou a informação

histórica, baseadas na experiência adquirida com o funcionamento e na exploração da fiabilidade do equipamento.

A sua aplicação é primada quando se trata, por exemplo, de operações de limpeza dos equipamentos, de equipamentos com elevados custos de falha, da substituição de componentes com ciclo de vida reduzido, de equipamentos submetidos a legislação específica e da lubrificação do equipamento.

Apesar dos enormes esforços que os setores da manutenção realizam a tentar combater as avarias verifica-se que a eliminação completa destas não é técnica nem economicamente possível nem possível somente à custa da manutenção.

### **3.4. Manutenção condicionada por análise de vibrações**

Segundo Oliveira (2021) [8], a vibração consiste num movimento oscilatório de pequena amplitude, em torno do mesmo ponto de equilíbrio. Esta pode propagar-se nos três estados da matéria e manifesta-se sempre que seja provocada uma excitação ao corpo, estando como tal, presente em tudo o que nos rodeia, incluindo no próprio ser humano.

Tal como refere White (1990) [9], o movimento mais simples que pode existir é o movimento numa só direção, dum massa controlada por uma mola. A variação ao longo do tempo, do deslocamento dum objeto submetido a este tipo de movimento permite-nos obter a forma de onda mais simples que existe, a onda sinusoidal.

White (1990) [9] menciona ainda que, a mesma lógica pode ser adotada para a velocidade e para a aceleração, uma vez que estas também variam ao longo do tempo.

A quantidade máxima de deslocamento que uma massa pode ter na sua posição neutral, é designada de amplitude, dependendo esta da intensidade da força de excitação, do amortecimento, massa e rigidez do sistema.

A intensidade desta amplitude indica-nos a severidade da vibração, podendo ser quantificada de diversas formas: valor pico, valor pico a pico, valor médio e valor RMS.

O valor pico corresponde ao valor máximo de amplitude dum choque de curta duração.

O valor pico a pico, indica a máxima amplitude do movimento num ciclo, sendo um fator muito importante por exemplo, para a determinação do deslocamento máximo.

O valor RMS ou valor eficaz, representa a raiz média quadrática do sinal e é utilizado para medir a amplitude da energia contida na onda.

Na seguinte figura, encontram-se identificados os parâmetros acima mencionados, numa onda sinusoidal.

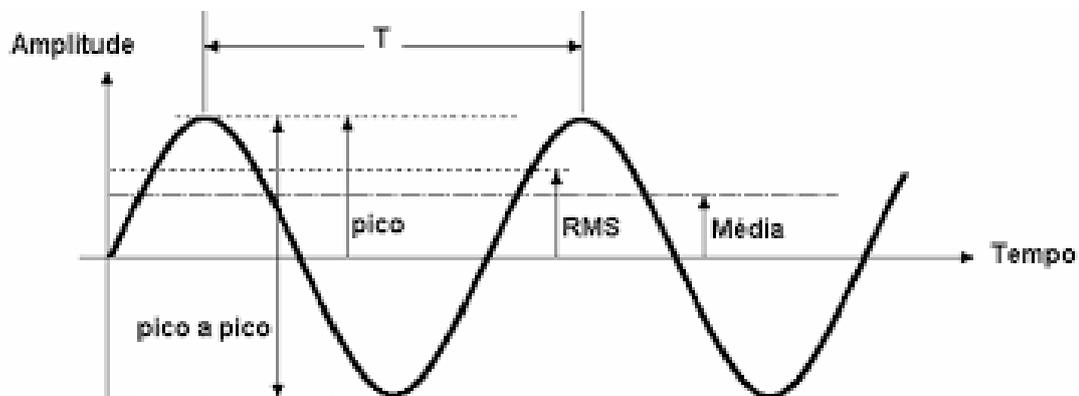


Figura 3.2. Características duma onda sinusoidal [8]

Todos os equipamentos possuem uma vibração característica, que está diretamente relacionada com a sua configuração, fabrico, uso e desgaste. Com um pequeno investimento de tempo e esforço em conhecer a natureza duma vibração, rapidamente se alcançará uma redução dos custos de operação e manutenção. [11]

No entanto, a vibração de um equipamento não é uma vibração simples. É uma vibração composta por uma série de vibrações simples correspondentes aos componentes internos em movimento. Nestas condições, a forma de onda da vibração não é sinusoidal, podendo ser muito mais complexa.

Este tipo de vibração possui um elevado número de dados, sendo bastante difícil realizar a sua leitura no tempo. Para tal, recorre-se à sua interpretação, através dum espetro, no domínio da frequência.

Foi o matemático e físico Jean Baptiste Fourier que descobriu o método analítico da transformação das representações para o domínio da frequência, adquirindo o nome de transformadas de Fourier (FFT), em sua honra. Este método, permite a representação dum sinal complexo no domínio do tempo através da sua decomposição em séries de curvas sinusoidais no domínio da frequência.

Tais transformadas tornam-se fundamentais quando queremos analisar a presença de defeitos, uma vez que, cada defeito possui uma frequência característica que no caso da representação no domínio do tempo, não é visível.

Para Ramalho (2020) [5], um dos grandes problemas que se coloca na análise espectral são as escalas dos espetros, uma vez que nos equipamentos é frequente o funcionamento dos

seus componentes a velocidades bastantes distintas, originando conseqüentemente um elevado intervalo de frequências. Da mesma forma as amplitudes associadas aos diferentes componentes podem ter várias ordens de grandeza, sendo como tal, bastante importante utilizar escalas logarítmicas de modo a dar a mesma relevância a todas as ordens de grandeza.

De acordo com Power – MI (2018) [11] e outros autores, na maioria dos equipamentos rotativos, a curva de deslocamento apresenta uma difícil leitura nas frequências mais altas, enquanto que a curva de aceleração apresenta uma difícil leitura nas frequências mais baixas, sendo a curva de velocidade mais uniforme em toda a gama de frequências. Comprovando-se assim mais uma vez, a importância do uso de uma correta escala.

Todo o processo de análise de vibrações, desde a medição até à análise dos valores obtidos, requer meios humanos qualificados e especializados e uma elevada disponibilidade dos mesmos, o que gera conseqüentemente a necessidade de investimento a este nível. É, no entanto, importante salientar que os ganhos com a análise das vibrações são muito superiores a quaisquer gastos que desta possam provir.

Para realizar as medições das vibrações dos equipamentos, são utilizados instrumentos de medida específicos, podendo estes ser mais ou menos desenvolvidos, por exemplo, medir apenas os valores de ruído ou até captar espectros e alertar a presença de valores anómalos. Estes instrumentos de vibração podem ser portáteis, destinados à realização de medições periódicas, ou de instalação permanente, quando se pretende uma monitorização contínua das vibrações do equipamento.

O procedimento de medição pode ser resumido da seguinte forma:

- Medição realizada com auxílio de um transdutor ou acelerómetro piezoelétricos, que convertem a vibração num sinal elétrico e que devem ser posicionado corretamente no equipamento de acordo com as recomendações existentes, para uma leitura verdadeira;
- Amplificação do sinal para um valor que possa ser lido pelo próprio aparelho de medição ou por um computador;

Além de ser necessário realizar a técnica corretamente, de modo a não obter resultados incorretos, é fundamental que estes sejam bem analisados e interpretados.

Vários organismos internacionais, ao longo dos anos criaram normas no sentido de simplificar a tarefa da análise dos resultados, sendo as mais comuns a norma ISO 2372:1974 e a norma ISO 10816:2014. Em 2016, a norma ISO 20816 veio substituir as anteriores.

Autores como Carnero (2003) [12] defendem que a análise das vibrações é provavelmente a técnica de diagnóstico mais completa e eficaz, sendo conseqüentemente a mais utilizada. Esta pode ser aplicada tanto a equipamentos rotativos, como alternativos, permitindo a deteção de avarias ainda num estado precoce, sem comprometer a disponibilidade dos equipamentos. O acompanhamento da evolução da avaria e a correta interpretação das informações obtidas, poder-nos-á indicar a gravidade e a origem do problema.

Para além de não ser intrusiva e permitir a deteção de defeitos numa fase precoce, como já referido, a análise de vibrações apresenta outras vantagens, como é o caso de nos permitir obter um padrão dos valores de vibração e conseqüentemente definir os valores de alarme e prever quando estes poderão ocorrer, possibilitando-nos planear as intervenções com antecedência.

São assim considerados valores de vibração aceitável, aqueles que não causam uma redução na vida do equipamento, nem causam danos nos equipamentos mais próximos, podendo, segundo Power – MI (2018) [11], ser determinados através das formas:

- Perante a existência de vários equipamentos, realizando a medição em quatro equipamentos, se três mostrarem um espectro idêntico e um quarto mostrar níveis muito mais elevados funcionando nas mesmas condições, poder-se-á concluir que o quarto equipamento apresenta problemas;

- Utilizar um padrão com base na experiência de terceiros e adaptá-lo com a experiência pessoal;

- Compilar os dados de medição das vibrações e enviá-los ao fabricante para serem avaliados;

- Utilizar os valores estabelecidos para cada tipo de equipamento nas normas;

- Criar um registo dos dados obtidos nos pontos críticos ao longo do tempo, e com estes estabelecer, valores de referência dos níveis aceitáveis.

De entre estas, a forma mais simples e eficaz é utilizar inicialmente os valores estabelecidos nas normas e ao longo da vida do equipamento, adaptar estes valores com o histórico existente.

Ramalho (2020) [5], defende que com os níveis de vibração ou com a análise espectral, é possível identificar e localizar defeitos como, desalinhamentos, desbalanceamentos, sobrecargas, entre outros.

Apesar de todas as vantagens apresentadas, ainda muitas empresas, não adotaram o uso desta técnica ou apenas adotaram a sua forma menos desenvolvida.

### **3.5. Lubrificação**

A adição de um fluido ou massa entre duas superfícies deslizantes com o objetivo de reduzir ou eliminar a fricção provocada pelo movimento destas, denomina-se lubrificação. A este fluido ou massa, dá-se o nome de lubrificante, podendo ter origem mineral ou sintética, e excepcionalmente animal ou vegetal.

Uma vez que, nenhuma superfície metálica é totalmente lisa, a lubrificação de equipamentos torna-se um procedimento essencial para as fábricas, já que esta ajuda na preservação dos equipamentos e aumenta a sua fiabilidade e disponibilidade.

Podemos deste modo destacar como principais objetivos da lubrificação, a diminuição do atrito entre os órgãos em movimento e da corrosão e a diminuição do consumo de energia, do desgaste e ruído e da dissipação de calor, causados pelo atrito, que se traduzirão no aumento da produtividade, durabilidade e dos intervalos de manutenção dos equipamentos.

Para o alcance de todos estes objetivos é fundamental garantir que está a ser aplicado o lubrificante certo, na quantidade certa, que este alcança o ponto certo, no momento certo e usando o método certo. Isto é possível com um estruturado e detalhado conjunto de tarefas que inclui entre outras, a escolha da cadeia de abastecimento, a seleção do lubrificante, o planeamento e programação de tarefas de lubrificação, a definição dos procedimentos de aplicação de lubrificante e a respetiva formação.

Muitas vezes as empresas optam por atribuir a escolha do tipo de lubrificante, das periodicidades e quantidades de lubrificação a entidades especializadas, uma vez que cada equipamento, tem as suas próprias características, exigindo distintos requisitos.

As chumaceiras dos rolamentos são dos elementos mais comuns em todos os equipamentos, sendo grande parte da teoria de lubrificação realizada com base no estudo destes. Uma regular limpeza do rolamento é fundamental para o seu bom funcionamento e aumento do tempo de vida, uma vez que diversos estudos comprovam que cerca de 50 % das falhas nos rolamentos são devidas não só a práticas de lubrificação incorretas, mas também a contaminações.

A forma de ministração do lubrificante no equipamento, depende do tipo de lubrificação desejada. No caso da lubrificação a óleo, existem sistemas de lubrificação

centralizados sob pressão e sistemas descentralizados. Nos sistemas de lubrificação centralizados sob pressão, um conjunto de equipamentos permite que o óleo previamente inserido no sistema seja dosado e bombeado de forma progressiva até ao local desejado. No caso dos sistemas descentralizados, destaca-se a frequente utilização da lubrificação em banho e a lubrificação por chapinhagem. Nestes dois tipos de lubrificação, o lubrificante é inserido diretamente no equipamento através dum orifício conectado a um recipiente que retém o lubrificante, figura 3.3. Para controlar devidamente a quantidade de óleo existente no recipiente utilizam-se copos de níveis tal como representado na figura 3.4.

Para este tipo de lubrificante existe também a possibilidade de se utilizar um copo de lubrificação com conta-gotas, o qual armazena o lubrificante e liberta-o em gotas para o equipamento no intervalo de tempo estabelecido, figura 3.5. No caso da lubrificação a massa, em pontos de lubrificação isolados, usam-se lubrificadores nos quais a massa é inserida periodicamente com uma pistola de lubrificação, figura 3.6. percorrendo posteriormente um canal próprio até ao referido ponto.



**Figura 3.3.** Orifício introdução de óleo



**Figura 3.4.** Copo de nível



**Figura 3.5.** Copo de lubrificação com conta-gotas



**Figura 3.6.** Pino de lubrificação

A periodicidade da lubrificação depende de diferentes fatores tendo em conta o tipo de lubrificante. O fator comum a todos os tipos de lubrificante é a temperatura de funcionamento do equipamento, uma vez que esta influencia a viscosidade do lubrificante. No caso da lubrificação a óleo, um fator também importante é a possibilidade de contaminação, uma vez que o óleo é bastante sensível à presença de contaminantes.

Ao longo dos últimos anos tem sido dado destaque a um novo tipo de lubrificação, a lubrificação automática. Esta é feita através de sistemas que proporcionam a quantidade de

lubrificante correta em intervalos de tempo pré-definidos, podendo estar aplicados apenas a um órgão ou a uma fábrica inteira.

As enormes vantagens que a lubrificação automática apresenta, tem levado ao seu crescimento exponencial. O facto de a lubrificação acontecer em intervalos de tempo e quantidades pré-determinadas em circuito fechado permite:

- Diminuição dos custos de manutenção;
- Maior confiabilidade do equipamento;
- Redução das paragens e perdas de produção;
- Aumento da segurança dos trabalhadores;
- Eliminação da contaminação do lubrificante;
- Redução ou eliminação dos desperdícios de lubrificante;
- Diminuição do impacto ambiental.

Porém, nem sempre é possível fazer a transição para este tipo de lubrificação devido às configurações dos equipamentos e fábricas.

### **3.6. Planeamento da manutenção**

A norma NP EN 13306:2007, define como plano de manutenção, o “conjunto estruturado de tarefas que compreendem as atividades, os procedimentos, os recursos e a duração necessários para executar a manutenção.”

Ramalho (2020) [13], defende que o planeamento tem então como desafios, a recolha das tarefas a realizar, a elaboração da cronologia de realização destas, a mobilização de meios adequados à sua execução, o lançamento das ordens de trabalho no momento escolhido e o acompanhamento da evolução dos trabalhos de modo a garantir a sua correta execução dentro dos prazos estipulados.

A existência de diversos níveis e divisões do planeamento, permite uma melhor organização das tarefas a realizar, uma vez que no decorrer do tempo surgem tarefas não planeadas. Estes processos baseiam-se na programação global de trabalhos distantes e na programação detalhada de tarefas próximas. Os diversos níveis de planeamento, são organizados de acordo com a extensão da previsão do planeamento, estando associado a cada período diferentes focos do planeamento. Já a divisão do planeamento é feita em atribuições,

lançamentos e oficina, sendo destinadas respetivamente, à distribuição das tarefas pelas diferentes seções, equipas e operários.

De acordo com a literatura podemos destacar a existência de três ferramentas de preparação do planeamento. São elas:

- Diagramas de Gantt: representação esquemática das diversas tarefas ou fases de um projeto ou programação de produção. Aqui estão definidas as datas de início e fim de cada tarefa, bem como sua a ordem de ocorrência em relação às outras.

- *Program Evaluation and Review Technique* (PERT): através deste gráfico, é possível acompanhar e fazer a gestão dos calendários dos projetos. Este indica claramente a dependência entre tarefas, bem como requisitos de tempo para a conclusão do projeto.

- MSProject: *software* que de gestão de projetos, que permite entre outros, criar diversos tipos de gráficos e diagramas relacionados com o planeamento da manutenção, gerir os recursos, avaliar custos, exportar dados e criar relatórios.

À equipa responsável pelo planeamento da manutenção compete um trabalho extremamente dinâmico, o qual engloba entre outras tarefas, a avaliação das necessidades de mão-de-obra bem como a necessidade da sua subcontratação, a execução da triagem atendendo à urgência do serviço, o planeamento das intervenções e o asseguramento do fornecimento e disponibilização de consumíveis e sobresselentes.

O planeamento da manutenção deverá então, de um modo geral ser realizado da seguinte forma:

- Atribuição do nível de urgência das tarefas a realizar;
- Definição de níveis de planeamento;
- Criação de uma cronologia do desenvolvimento das tarefas;
- Lançamento das ordens de trabalho, documento que permite que os elementos responsáveis pela realização das intervenções, descrevam os trabalhos executados, materiais gastos e diagnósticos efetuados;
- Acompanhamento da execução dos trabalhos;

Todos estes passos deverão ser executados com recurso à experiência profissional, elementos técnicos e dados históricos existentes.

Atualmente a subcontratação de serviços é um recurso cada vez mais utilizado. Esta consiste numa operação na qual uma empresa contrata outra para a execução de determinadas tarefas previamente estabelecidas, permitindo assim a execução de tarefas para

as quais a empresa contratante não possui adequada formação e/ou certificação para a sua resolução e o combate à falta de mão de obra associada a sobrecargas temporárias (aquando ocorrência de paragens gerais). É importante salientar que a subcontratação poderá ser utilizada dum modo estratégico a nível dos custos da manutenção.

No processo de subcontratação a empresa contratante tem de realizar previamente uma correta definição dos serviços pretendidos através da elaboração de cadernos de encargos e de seguida iniciar uma pesquisa do mercado, envolvendo a análise das diversas propostas recebidas. Depois de estabelecido o acordo de subcontratação, o contrato é assinado e as tarefas são executadas sempre com o acompanhamento da empresa contratante.

Apesar de exigir um elevado investimento de tempo e trabalho, o planeamento da manutenção permite às empresas a realização de intervenções com elevada eficiência (melhor qualidade de mão de obra e menor tempo de paragem), um melhor controlo dos produtos em reserva e dos custos associados, evitando desperdícios, e um maior aproveitamento do tempo de vida dos equipamentos.



## **4. SITUAÇÃO ATUAL**

A Prado – Cartolinas da Lousã, S.A. possui um serviço destinado ao controlo, planeamento e execução das operações de manutenção, o Serviço de Manutenção e Energia (SME). Sendo que esta empresa funciona de forma contínua, a necessidade de garantir a disponibilidade e funcionamento dos equipamentos e instalações é imperativa.

Neste capítulo, é apresentada a estrutura do Serviço de Manutenção e Energia bem como o seu modo de atuação.

### **4.1. Serviço de Manutenção e Energia**

O Serviço de Manutenção e Energia, composto por 15 elementos, divide-se em quatro equipas: a equipa da direção, a equipa dos técnicos de manutenção posição mecânico, a equipa dos técnicos de manutenção posição elétrico e a equipa da central térmica.

As equipas de direção e dos técnicos de manutenção posição mecânico e ainda o chefe da oficina elétrica, laboram em horário fixo, sendo que os três técnicos de manutenção posição mecânico são ainda distribuídos por uma escala anual de prevenção diária, de forma a assegurar as intervenções necessárias em horário extralaboral. A equipa dos técnicos de manutenção posição elétrico e da central térmica juntamente com os restantes operadores fabris, laboram num regime de turnos.

Durante o estágio, foi possível observar que todo o serviço de manutenção está em constante contacto e sintonia, notando-se um bom espírito de equipa e entreajuda, o que se reflete na rapidez e qualidade da execução e resolução de anomalias.

### **4.2. Inspeção de anomalias**

A comunicação de anomalias é realizada pelas equipas dos técnicos de manutenção e pelos operadores das respetivas áreas fabris, sendo transmitidas à equipa de direção principalmente através de informação verbal ou através de diversos registos diários: ‘Parte Diária dos Chefes de Turno’ - anomalias nos equipamentos do processo produtivo e/ou fabris; ‘Leituras da Central Térmica’; ‘Operação/Condução de ETARI’; Registo ‘Informação dos Eletricistas em Turnos’. Estas informações são posteriormente integradas

num *software* interno, GESTRA, onde se encontram todas as intervenções realizadas e a realizar.

Quando a anomalia ocorre durante o horário geral, quem a deteta comunica a situação de imediato a um dos técnicos de manutenção posição mecânico ou elétrico, que analisa a natureza da anomalia e o grau de urgência da sua resolução. Esta análise por sua vez, é comunicada ao responsável do DI/SME, que juntamente com o técnico, decide a forma de atuação, que fica registada nos ficheiros de trabalhos a executar.

Quando a anomalia ocorre fora do horário geral, quem a deteta comunica a situação de imediato ao técnico de processo e ao técnico de manutenção posição elétrica que a caracterizam e procedem à sua resolução, caso seja da sua competência. No caso de a anomalia ser de origem mecânica, e os presentes verificarem que não lhes é possível resolver o problema, de acordo com o grau de urgência da sua resolução, é chamado o técnico de manutenção posição mecânica de prevenção.

Após uma análise da anomalia detetada, por parte do técnico de manutenção posição mecânico/elétrico e do responsável do DI/SME, a resolução do problema é atribuída a uma intervenção com ou sem paragem.

De modo a melhor prever estas anomalias, e sempre que possível evitá-las, o SME utiliza atualmente três técnicas de diagnóstico, são elas a análise de vibrações, a termografia e a análise de óleos. Destas três técnicas a que está mais desenvolvida e é mais aplicada pela empresa, é a análise de vibrações, que é objeto de estudo deste trabalho. A termografia é uma técnica recente na Prado – Cartolinas da Lousã, S.A., sendo que ainda está num estado muito precoce para ser utilizada efetivamente como técnica de diagnóstico. Na fase atual, está a entender-se como funciona o equipamento de medição e a criar uma base de dados. Uma vez que na literatura existe pouca informação relativa à aplicação da termografia na manutenção mecânica, esta é apenas utilizada para sistemas elétricos.

Quanto à análise de óleos, apesar de existirem contratos com empresas de análise que permitem a execução desta sem agravamento de custo, esta é uma técnica muito pouco utilizada. Uma vez que os circuitos do óleo passível de análise (centralina de lubrificação centralizada da máquina de papel e transformadores de energia elétrica) são fechados, a empresa considera que a contaminação a que estes poderão estar sujeitos é muito pequena ou praticamente nula, realizando a sua análise apenas de dois em dois anos, no decorrer da paragem geral.

### 4.3. Planeamento e execução de intervenções

As intervenções que necessitam de paragem do equipamento deverão ser planeadas antecipada e corretamente.

Existem dois tipos de paragens possíveis, as paragens de curta duração e as de longa duração. As de curta duração, têm uma duração inferior a 24h e podem ocorrer devido a lavagens de máquina, cronograma dos ciclos de produção ou até mesmo devido a um acúmulo da necessidade de intervenções deste tipo. A calendarização destas intervenções é feita com base em diversos fatores como o grau de urgência, os compromissos de produção/encomendas, a influência na qualidade do produto e questões de segurança ou ambientais.

Após a sua calendarização, é elaborado o planeamento dos trabalhos a realizar, incluindo a análise da necessidade de recursos materiais e humanos.

A Prado- Cartolinas da Lousã, S.A. realiza anualmente uma paragem de longa duração, com cerca de 15 dias úteis, à qual dá o nome de “Paragem Geral”. Nesta paragem todo o processo fabril é interrompido e são realizadas todas as intervenções programadas antecipadamente. Além da correção de anomalias, nesta paragem efetua-se também manutenção do tipo preventiva, através da avaliação do estado e segurança dos equipamentos. Devido ao elevado volume de trabalho existente neste tipo de paragem, os meios humanos internos não são suficientes para a execução de todas as tarefas em tempo útil, e portanto, recorre-se à subcontratação tanto de mão-de-obra, como de serviços prestados por empresas certificadas.

Esta paragem requer a elaboração de um minucioso planeamento por parte dos elementos da DI/SME, de modo a atender a todas as necessidades durante o período da Paragem Geral. O planeamento é feito com recurso aos dados resultantes das inspeções e informações diárias comunicadas ao longo do ano, aos planos de trabalhos de paragens de anos anteriores, aos manuais dos equipamentos, às informações relevantes presentes no *software* de gestão de trabalhos “GESTRA” e à execução de obras, de acordo com o orçamento anual. [14]

Inicialmente elabora-se um documento que compila todos os trabalhos necessários a efetuar. Este é realizado com a participação de diversos setores da empresa, como é o caso do serviço de qualidade e ambiente, do serviço de planeamento e logística ou o técnico de segurança e saúde no trabalho. Além deste documento é necessário avaliar diversos fatores, como por exemplo: - a necessidade de mão-de-obra externa e interna e de material para cada;

- os riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores e ambientais; - as medidas para a sua minimização.

De seguida, são elaborados os cadernos de encargos onde são redigidos todos os trabalhos de forma detalhada, sendo estes após estarem terminados, enviados para consulta de mercado para posterior seleção de propostas, a fim de obter o pretendido com a melhor relação custo/benefício.

Antes do encerramento da paragem geral os membros da DI/SME e o diretor industrial, reúnem para fazer o balanço da paragem, identificando os desvios à programação e outras ocorrências dignas de registo. O encerramento da paragem geral é evidenciado através da assinatura, datação e aposição de “Processo Encerrado”, pelo responsável do DI/SME, no documento “Paragem Geral - Trabalhos a Executar”, e rubrica do diretor industrial. [14]

Anualmente com o auxílio do fornecedor de lubrificantes, a DI/SME, constitui um plano de lubrificação que contém todas as ações de lubrificação a realizar no decorrer do ano. Este plano é inserido no *software* interno Sistema de Gestão da Manutenção (SGM), que posterior e automaticamente gera as rotinas semanais de lubrificação e inspeção de acordo com a periodicidade definida no plano. Estas rotinas são emitidas no primeiro dia útil de cada semana e entregues ao técnico de manutenção posição mecânica e, quando aplicável, ao técnico de manutenção posição elétrica. Caso não seja possível realizar todas as tarefas definidas na rotina, cabe ao técnico definir quais as que deverão transitar para a semana seguinte e informar a DI/SME. Terminada a semana, o técnico deve entregar a folha com a rotina devidamente assinada e assinalada nas funções não executadas.

Deverá ser realizada uma atualização/alteração a este plano sempre que se adquirirem novos equipamentos, se modificarem equipamentos existentes, se alterar o esquema de funcionamento dum equipamento e sempre que se verificar um funcionamento anómalo devido a lubrificação deficiente.

É de salientar que em qualquer intervenção realizada, quem a executa é devidamente informado acerca das regras de segurança e todo o processo é devidamente acompanhado por elementos da DI/SME.

Deste modo, toda a manutenção efetuada na Prado – Cartolinas da Lousã, S.A. atua no sentido de dar continuidade ao funcionamento dos equipamentos, procurando sempre que possível incluir uma otimização do processo e uma redução de custos.

## 5. TRABALHO DESENVOLVIDO

Neste capítulo, encontra-se todo o trabalho desenvolvido na Prado – Cartolinas da Lousã, S.A. no decorrer do estágio.

### 5.1. Equipamentos em estudo

Como referido anteriormente, para a realização deste trabalho, foi analisada a técnica de análise de vibrações nos 3 conjuntos motor-bomba de mistura do setor da depuração da mesa inferior e como a aplicação da análise de vibrações permitiu a deteção de anomalias noutros dois equipamentos. Torna-se então primordial, iniciar com uma breve descrição das principais características e modo de funcionamento de cada um destes equipamentos.

#### 5.1.1. Conjunto motor-bomba 1ª fase depuração mesa inferior

Este conjunto motor-bomba, representado na figura 5.1, tem como função misturar e impulsionar toda a massa que aqui chega, para o depurador da 1ª fase. Imediatamente antes de chegar à bomba, é adicionado à massa, carbonato de cálcio. A massa, pode ser proveniente do tanque das águas coladas, do retorno dos depuradores da 1ª fase e dos depuradores da 2ª fase, o que nos mostra que esta está em constante circulação durante todo o processo, podendo passar mais que uma vez neste conjunto, dependendo do seu estado de depuração.



**Figura 5.1** Conjunto motor-bomba mistura 1ª fase mesa inferior

Na tabela seguinte, encontram-se compiladas as principais características quer do motor, quer da bomba.

**Tabela 5.1.** Características do conjunto motor-bomba mistura 1ª fase mesa inferior

	<b>Motor WEG 315SM4</b>	<b>Bomba Sulzer APP51-250</b>
<b>Potência</b>	110 kW	88 kW
<b>Velocidade</b>	1480 rpm	1480 rpm
<b>Classe</b>	II	II
<b>Criticidade</b>	Muito Crítico: Para Máquina Imediatamente	
<b>Rolamento Acoplamento</b>	6319 C3	7318BEP SFK
<b>Rolamento Oposto Acoplamento</b>	6316 C3	NUP317EC SFK

### 5.1.2. Conjunto motor-bomba 2ª fase depuração mesa inferior

Nestes equipamentos, a massa pode ter seis origens: saída dos depuradores da 4ª fase de depuração, saída dos depuradores da 3ª fase, rejeitos dos depuradores da 1ª fase, rejeitos do depurador SP800 e retorno da caixa de chegada. Aqui é misturada e encaminhada para os depuradores da 2ª fase.

Este conjunto, contrariamente aos outros, não se encontra fisicamente localizado no setor da depuração, mas sim junto ao tanque das águas coladas da mesa inferior, ao qual está ligado, permitindo a reintegração no processo de depuração, da massa excedente das caixas de chegada e aspirantes.



**Figura 5.2.** Conjunto motor-bomba mistura 2ª fase mesa inferior

Na anterior figura é possível identificar este conjunto.

De entre as diversas especificações que o motor e a bomba apresentam, destacam-se as que compõem a seguinte tabela.

**Tabela 5.2.** Características do conjunto motor-bomba mistura 2ª fase mesa inferior

	<b>Motor</b>	<b>Bomba 11-9-200-HP4</b>
<b>Potência</b>	75 kW	[-]
<b>Velocidade</b>	1470 rpm	1470 rpm
<b>Classe</b>	II	II
<b>Criticidade</b>	Muito Crítico: Para Máquina Imediatamente	
<b>Rolamento Acoplamento</b>	6316 FAG	7311B SKF
<b>Rolamento Oposto Acoplamento</b>	6314 SFK	6311 FAG

### 5.1.3. Conjunto motor-bomba 3ª fase depuração mesa inferior

No conjunto motor-bomba da 3ª fase de depuração da mesa inferior, figura 5.3, a massa proveniente dos rejeitos da depuração da 2ª fase e do tanque das águas coladas, é misturada e dirigida para os depuradores da 3ª fase. Aqui existe um “jogo” de válvulas, em que quando chega à bomba a massa proveniente dos rejeitos da 2ª fase da depuração, a válvula referente ao tanque das águas coladas fecha um pouco, de modo ao sistema dar preferência à que entra dos rejeitos. Na tabela 5.2 estão organizadas as principais especificações deste conjunto.

**Figura 5.3.** Conjunto motor-bomba mistura 3ª fase mesa inferior**Tabela 5.3.** Características do conjunto motor-bomba mistura 3ª fase mesa inferior

	<b>Motor ABB Service NRI 180212</b>	<b>Bomba Licar TW8- 80HP4LB3B</b>
<b>Potência</b>	18,5 kW	[-]
<b>Velocidade</b>	1450 rpm	1450 rpm
<b>Classe</b>	II	II
<b>Criticidade</b>	Muito Crítico: Para Máquina Imediatamente	
<b>Rolamento Acoplamento</b>	6210 SKF	7308B FAG
<b>Rolamento Oposto Acoplamento</b>	6209 SFK	6308 FAG

#### 5.1.4. Conjunto motor-bomba vazamento tinão de mistura

Um dos equipamentos no qual foram detetados valores anormais durante a análise das vibrações, o que levou a uma intervenção neste, foi o conjunto motor-bomba responsável pelo vazamento do tinão de mistura.

Este conjunto tem a função de retirar a massa do tinão de mistura e impulsioná-la para o tinão de máquina. No entanto, à massa que é retirada do tinão de mistura é adicionado corante antes de chegar à bomba do conjunto e nem toda a massa que é impulsionada para o tinão de máquina chega a este, uma vez que, no percurso tinão de mistura-tinão de máquina é feita uma análise da massa e parte desta vai para a ETAR.



Figura 5.4. Conjunto motor-bomba vazamento tinão de mistura

Para caracterizar este conjunto, acima representado, bastam as seguintes propriedades.

Tabela 5.4. Características do conjunto motor-bomba vazamento tinão de mistura

	Motor ABB Service	Bomba Scanpump BA150/150-26
Potência	22 kW	[-]
Velocidade	1485 rpm	1485 rpm
Classe	II	II
Criticidade	Muito Crítico: Para Máquina Imediatamente	
Rolamento Acoplamento	6310 FAG	6309 SKF
Rolamento Oposto Acoplamento	6209 FAG	7309B SKF

#### 5.1.5. Chumaceira nº12 veio geral

A chumaceira nº12 do veio geral, representada na figura 5.5, foi o outro equipamento no qual foram detetados valores anómalos na análise das vibrações. Sendo um equipamento mais simples, as principais propriedades que podemos destacar na tabela 5.5., são o

rolamento inserido na chumaceira e a velocidade na qual o veio pode rodar em forma de intervalo, uma vez que a velocidade de rotação deste varia com o tipo de produto a ser fabricado, seguindo o princípio: menores gramagens, velocidades de rotação mais elevadas.

**Tabela 5.5.** Características da chumaceira nº12 veio geral

<b>Rolamento</b>	22216 SKF
<b>Velocidade de rotação</b>	90 a 190 m/min



**Figura 5.5.** Chumaceira nº12 veio geral

## 5.2. Análise de vibrações

A técnica de análise de vibrações foi adotada pela Prado – Cartolinas da Lousã, S.A. há já alguns anos, com vista a obter parâmetros adicionais para a verificação da condição dos equipamentos, tornando-se uma técnica fundamental para o serviço de manutenção da empresa.

Inicialmente, com um aparelho ainda muito básico, um estetoscópio, esta técnica apenas era utilizada caso algum trabalhador notasse sensorialmente um ruído ou vibração diferente, sendo posteriormente comparadas as análises obtidas com a medição da temperatura do equipamento em questão. Apesar de ser um modelo de aplicação da técnica muito pouco desenvolvido, era o que se adequava à dimensão e necessidade da empresa na altura.

Em 2009, face ao crescimento da empresa, foi adquirido um novo equipamento mais moderno, sendo o utilizado até ao momento. Cerca de um ou dois anos antes, uma outra empresa que juntamente com a Prado - Cartolinas da Lousã, S.A. tinha feito parte da Companhia do Papel do Prado, S.A e com a qual ainda eram mantidas relações, iniciou o

processo de subcontratação de uma empresa especializada em análise de vibrações. No entanto, a Prado – Cartolinas da Lousã, S.A. concluiu com a experiência desta, que esta forma de aplicação não era de todo a mais vantajosa, uma vez que devido a questões de logística, a empresa apenas se podia deslocar às instalações duas a três vezes por ano, originando uma periodicidade de medidas demasiado grande para a deteção e acompanhamento de anomalias. Além disso, existia também o facto de a empresa subcontratada ter de assumir o compromisso de já ter todo o levantamento feito das características de cada equipamento, de modo a obter uma análise correta.

Com a aquisição do novo equipamento, a empresa começou a ter acesso a uma análise mais completa das vibrações, gerindo-a da forma que melhor se adapta à sua realidade, podendo aplicar a técnica nas periodicidades que pretende e com uma base de dados bem estruturada. Atualmente, a análise de vibrações está a cargo do orientador desta tese, o engenheiro Nuno Matos, devido ao cessamento de funções do anterior técnico. Ao contrário do técnico anterior, o atual responsável, adquiriu todos os conhecimentos relativos ao aparelho de medição e à técnica de forma autónoma, não tendo recebido qualquer tipo de formação específica.

### 5.2.1. Equipamento de medida

O aparelho de medição utilizado neste momento é o Leonova™ *Infinity* da marca *SPM Instrument AB*, figura 5.6. Este é um aparelho registador e analisador de dados portátil, com um ecrã tátil colorido e que opera com o Windows CE.



Figura 5.6. Leonova™ *Infinity*, SPM Instrument AB [15]

Apesar das inúmeras funções que possui, apenas algumas vêm incluídas aquando a aquisição do aparelho e podem ser utilizadas de forma ilimitada. As restantes funções

podem ser adquiridas pelo utilizador de acordo com as necessidades deste. Na seguinte tabela encontram-se listadas todas as funções ilimitadas e limitadas.

**Tabela 5.6.** Funções Leonova™ *Infinity*

<b>Ilimitadas</b>	<b>Limitadas</b>
Registo de dados com Condmaster®Nova	FFT com sintomas
Medição de vibração RMS de acordo com ISO 2372	Medição de vibração RMS de acordo com ISO 10816, com espectro
Medição de velocidade	Análise de orbita
Medição de temperatura	Alinhamento de eixo
Medições analógicas (corrente e tensão)	Teste de resposta ( <i>bump test</i> )
Ler e escrever nas etiquetas de memória CondID®	EVAM análise de vibração avaliada, sinal de tempo
Gravação manual	Balanceamento
Pontos de verificação	SPM ( <i>shock pulse method</i> ), com espectro
	SPM dBm/dBc
	SPM LR/HR
	SPM dBm/dBc e LR/HR
	Monitorização simultânea vibração 2 canais
	Balanceamento, um plano
	Balanceamento, dois planos
	Balanceamento, um e dois planos

Visto que este aparelho possui um manual tão detalhado e completo e que foi a partir deste que o técnico responsável pela aplicação da técnica na empresa, realizou a sua aprendizagem acerca do mesmo, a base teórica para a realização desta parte do trabalho foi maioritariamente este documento. Aqui encontra-se contida uma explicação bastante útil relativa a cada uma das funções que o aparelho disponibiliza.

De entre todas as funções existentes neste aparelho, a Prado Cartolinas da Lousã, S.A. utiliza a medição de velocidade, medição de vibração RMS de acordo com ISO 2372, SPM (*shock pulse method*) com espectro, EVAM análise de vibração avaliada, sinal de tempo e SPM dBm/dBc.

Com a sua utilização, os rolamentos começam a gerar choques na interface entre o elemento rolante e a pista. Os aparelhos de análise de vibrações, captam estes choques e transformam-nos em pulsos elétricos.

São os valores dBm (nível máximo de choque) e dBc (nível mínimo de choque) que permitem quantificar a magnitude do pulso de choque em decibéis, sendo para a função SPM dBm/dBc, apenas necessário introduzir como entrada, a velocidade rpm e o diâmetro do eixo do rolamento, neutralizando assim o efeito da velocidade e definindo um valor inicial dBi. A necessidade de introduzir apenas dois valores como entrada, aumenta a preferência de escolha desta função face a outras, uma vez que quanto menor for o número de dados de entrada, menor é o efeito provocado por estes no valor obtido.

Estes dois valores, são avaliados numa escala de condição, estabelecida empiricamente através de testes de condição a rolamentos: verde (dBm inferior a 20 dBn = bom), amarelo (dBm entre 21 e 34 dBn = cuidado) e vermelho (dBm superior a 35 dBn = mau); a qual tem por base fatores como a qualidade de instalação, carga, lubrificação e estado mecânico das superfícies do rolamento. Quando os resultados estão na gama do vermelho, os rolamentos devem ser analisados de modo a entender a origem dos valores e o modo de atuação na correção. Comparar os valores de choque dentro e em redor da caixa na qual está inserido o rolamento e realizar testes de lubrificação (diferença entre dBm e dBc) são possíveis ações de análise. Valores altos de dBm e pequenas diferenças entre dBm e dBc, indicam lubrificação insuficiente ou inexistente.

O aparelho possui, no entanto, um método muito mais simplificado para esta análise, o SPM Spectrum. Esta função tem como objetivo verificar a fonte das leituras altas da magnitude do pulso de choque. Após obter as magnitudes através da função dBm/dBc, é realizada uma segunda medição, a qual faz um registo de tempo que é submetido a uma Transformada Rápida de Fourier (FFT) e origina um espetro.

Este espetro é utilizado para identificar padrões associados a sintomas e assim concluir que o pulso de choque é efetivamente do rolamento e qual a origem do seu valor de magnitude elevado, podendo o utilizador configurar a resolução e originar o tipo de espetro pretendido.

Os sintomas são definidos no momento da criação do ponto de medição, no *software*. Estes pretendem identificar as linhas do espetro representativas de certas falhas do rolamento. A introdução da velocidade exata e das frequências do rolamento (através do

---

número ISO), são necessárias para o reconhecimento dos padrões. Caso a velocidade de rotação do equipamento seja variável, esta deve ser atualizada no aparelho portátil antes de iniciar cada medição.

É importante salientar que ao longo do presente trabalho foi adotado o termo “sintomas” tal como consta no aparelho de medida e respetivo manual, devendo entender-se que corresponde à relação entre os picos da análise espectral e as avarias dos componentes do equipamento.

O aparelho Leonova<sup>TM</sup>*Infinity* é capaz de identificar as seguintes frequências associadas aos respetivos sintomas: frequência de passagem na pista externa, BPFO, frequência de passagem na pista interna, BPFI, frequência modulada de passagem na pista interna, BPFIM, frequência de rotação da esfera, BSF, frequência de rotação da esfera modulada, BSFM e frequência fundamental da gaiola, FTF.

A exibição e as funções dos espectros SPM e de vibração são iguais, diferindo apenas a unidade de medida e a unidade de amplitude. O espectro SPM tem duas possíveis unidades de amplitude. A utilizada pela empresa é SL (*Shock Level*), o valor RMS do componente de frequência em decibel e a outra é SD (*Shock Distribution*), sendo que cada espectro é dimensionado para que o valor total RMS de todas as linhas seja igual a 100 SD.

O método de medição da vibração num equipamento, mais económico e como tal o mais utilizado, é o nível global, correspondente à medição de vibração de banda larga. A ISO 2372 é uma das normas que está associada a este tipo de medição, correspondendo à faixa de frequência de 10 a 10 000 Hz.

Esta norma define 6 possíveis classes de vibração, nas quais o equipamento se pode enquadrar, em função da sua potência, tamanho e rigidez. A cada classe estão associados, valores limite (valores RMS da velocidade de vibração) de acordo com a gravidade da vibração, estando a cada patamar associada uma cor, da seguinte forma: vibração aceitável (verde), vibração insatisfatória (amarelo) e vibração que causará danos a menos que seja reduzida (vermelho). Este valor é representativo do conteúdo de energia da vibração do equipamento e, portanto, das forças destrutivas que atuam neste.

Para esta função apenas é necessário definir a direção da medição e a classe à qual o equipamento pertence. A medição é realizada nas três direções, sendo o valor mais alto obtido o valor que será utilizado para comparação com os limites da norma.

A figura 5.7., contém os diferentes patamares de severidade de vibração, assinalados a numa escala na escala de três cores, acima mencionada.

Máquinas pequenas Classe I	Máquinas Médias Classe II	Máquinas Grandes		Severidade
		suporte rígido Classe III	suporte flexível Classe IV	
1,8 mm/s	2,8 mm/s	4,5 mm/s	7,1 mm/s	A/B
4,5 mm/s	7,1 mm/s	11,2 mm/s	18 mm/s	
				C
				D

Figura 5.7. Intervalos de gravidade de vibração segundo ISO 2372:1974 [16]

O método EVAM, método de análise de vibração avaliada, fornece três tipos de dados acerca do estado do equipamento. São eles: parâmetros de condição (valores que descrevem vários aspetos da vibração do equipamento), espectros de vibração com destaque na existência de padrões coincidentes com sintomas de falha pré-definidos bem como indicação dos valores destes sintomas (soma dos valores RMS das linhas) e indicação da condição do equipamento, através de números adimensionais obtidos por uma avaliação estatística dos parâmetros de condição seleccionados e dos valores de sintomas de falha, sendo exibidos numa escala de cores (verde-amarelo-vermelho).

O tipo de dados pode ser escolhido para cada ponto de medição, de acordo com o pretendido pelo utilizador. O mesmo acontece com os parâmetros de condição, que são:

- VEL, valor RMS da velocidade de vibração;
- ACC, valor RMS da aceleração de vibração;
- DISP, valor RMS do deslocamento de vibração;
- CREST, valor de crista, diferença entre pico e RMS;
- KURT Kurtosis, quantidade de transientes na vibração sinal;
- SKEW Skewness, assimetria do sinal de vibração;

- NL1 – 4, nível de ruído nos quatro quartos da frequência alcance.

Para a configuração da maioria dos sintomas basta utilizar a velocidade (rpm) como variável, já para outros, é necessária uma outra entrada, como por exemplo, o número de palhetas no rotor.

Contudo, a existência de aparelhos com inúmeras funções de medição ou com o sistema de análise mais desenvolvido, não apresenta grande valor se a medição não for bem realizada. A localização dos pontos de medição deve ser escolhida de acordo com a localização dos rolamentos no equipamento.

De entre os diversos transdutores que este aparelho possui, para as funções de medição adquiridas pela empresa, utilizam-se os representados nas figuras seguintes.



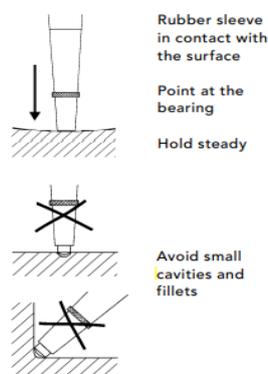
**Figura 5.8.** Monitorização vibração – acelerómetro piezoelétrico [15]



**Figura 5.9.** Monitorização pulso de choque – transdutor piezoelétrico [15]

É fundamental que as medições sejam realizadas sempre no mesmo ponto, de modo a obter resultados passíveis de comparação. Para tal, a existência de marcações bem visíveis nestes pontos de medição é uma grande mais valia. De elevada importância é também o correto posicionamento do transdutor na superfície.

O transdutor piezoelétrico trabalha na sua frequência de ressonância permitindo ao utilizador localizar o ponto onde se encontra o sinal de choque mais forte. Tal como apresentado na figura 5.10, no posicionamento do transdutor, devem ser evitadas cavidades e juntas côncavas menores que a ponta deste, uma vez que é um transdutor muito sensível a choques. O transdutor deve ser bem pressionado de modo a evitar fricção e bem direcionado de modo a medir na direção pretendida. A luva de borracha que se encontra na ponta do transdutor é o componente que se encontra em contacto direto com a superfície, sendo como tal, a única parte que se poderá desgastar, podendo tolerar, no entanto superfícies até 110°C.



**Figura 5.10.** Posição de medida do transdutor piezoelétrico [15]



**Figura 5.11.** Posição de medida do acelerómetro piezoelétrico [15]

No caso do acelerómetro piezoelétrico, este apresenta um íman na ponta, de modo a fixar-se em partes metálicas como na figura 5.11. e é utilizado para a medição dos parâmetros de vibração, através da medição da aceleração. Este funciona longe da sua frequência de ressonância, permitindo captar sinais numa ampla gama muito mais alta. Quanto mais firme o seu contacto com o equipamento e quanto mais lisa e limpa a superfície, melhor os resultados obtidos.

O sistema permite agrupar diversos pontos de medição em rotas. Estas são definidas no *software* SPM Condmaster<sup>®</sup>Nova, sendo posteriormente descarregadas para o aparelho de medição. Após a execução da medição, os resultados obtidos são enviados para o computador que contém o *software*.

### 5.2.2. Análise da medição atual

Para explicar o modo como a Prado – Cartolinas da Lousã, S.A. aplica a análise de vibrações, pode-se iniciar com uma breve explicação dos passos seguidos pelo técnico que efetua as medições.

Utilizando as cinco rotas de medição existentes, o técnico desloca-se à área fabril e realiza as medições durante cerca de 4 dias.

Durante a execução das rotas de medição, se o técnico detetar um valor anómalo, primeiro repete a medição e caso os valores obtidos continuem fora do normal, fala com o técnico de manutenção posição mecânica, para ver se detetam algum problema. Caso não detetem, iniciam com um aumento da lubrificação e acompanham a evolução das medições de vibração nos dias seguintes.

---

Se o problema não for resolvido, dependendo da gravidade deste e da criticidade do equipamento, agenda-se a sua intervenção para a próxima paragem de curta duração ou intervém-se no momento, podendo originar uma paragem da produção.

Terminadas as medições, os dados são transferidos para o *software* SPM Condmaster<sup>®</sup>Nova, no computador, que gera uma lista com todos os valores obtidos. Estes são posteriormente analisados pelo técnico, sendo que, caso algum valor esteja fora do normal, o técnico procede de igual forma a quando deteta o valor anómalo durante a medição, tal com descrito previamente.

Neste *software* SPM Condmaster<sup>®</sup>Nova, que acompanha o aparelho de medição Leonova<sup>™</sup>Infinity, foram inseridos ao longo dos tempos todos os equipamentos sujeitos à análise de vibrações, bem como os seus parâmetros necessários à execução da medição. Ao mesmo tempo, estes equipamentos foram sendo distribuídos por cinco rotas de medição de forma a tornar mais fácil a gestão da análise das vibrações. Uma rota é destinada à transmissão da máquina de produção, uma às redutoras e motores da máquina de produção, uma aos equipamentos das ETAR, uma aos equipamentos da ETA e outra aos restantes equipamentos da máquina de produção sujeitos à análise de vibrações, tais como, diversos conjuntos motor-bomba de mistura, rolos tensores, bombas de alimentação, etc.

Tal como já referido, a execução da medição de todas as rotas ocupa em média 4 dias. Tendo em conta que no total são analisadas as vibrações de cerca de 170 equipamentos, verificam-se os valores típicos para um aparelho de medição automático com recolha e memória de dados, 40 equipamentos por dia (7h de medição e 1h de análise da informação recolhida).

De modo a mais facilmente entender em detalhe o procedimento de medição e de análise dos valores obtidos, para este trabalho analisaram-se os três conjuntos motor-bomba de mistura do setor da depuração da mesa inferior descritos no subcapítulo 5.1.

Através dos históricos de medição destes equipamentos, foi possível verificar que o número de medições efetuado não é o que a literatura recomenda.

No decorrer do estágio verificou-se que aplicação da técnica de análise de vibrações apenas é feita na totalidade dos equipamentos meses antes da paragem geral, para que os dados obtidos sejam utilizados na preparação desta.

Seria interessante, entender se de facto a periodicidade apesar de não ser a recomendada, é adequada, comparando as medições com as avarias dos equipamentos. No

entanto, o histórico das avarias tem uma lacuna temporal muito grande, impossibilitando a obtenção desta conclusão. Atualmente, está a ser tido mais cuidado a este nível, podendo provavelmente dentro de uns tempos, ser interessante fazer esta correlação.

No passado tentaram fazer-se marcações nos pontos de medição dos equipamentos, de modo a obter uma comparação de valores mais fiável. Alguns dos equipamentos analisados apresentam efetivamente ao dia de hoje estas marcações, tal como é possível verificar na figura 5.12, contudo isto não acontece em todos os equipamentos.



Figura 5.12. Marcações dos pontos de medição



Figura 5.13. Medição em motor elétrico

Em certos equipamentos, devido às suas configurações, por vezes é difícil realizar as medições nos pontos ideais. Para estes casos, o técnico que efetua a medição tenta utilizar técnicas que o permitam obter uma medição onde seja detetada uma quantidade significativa de vibração. Um exemplo disso são os motores elétricos, em que, na sua maioria, a tampa do motor do lado oposto ao acoplamento se encontra coberta pela forra de proteção do ventilador. Nesses, o técnico utiliza os parafusos que apertam a forra ao corpo do motor, como ponto de medição, tal como representado na figura 5.13, uma vez que estão em contacto direto com a tampa acima referida.

Relativamente ao procedimento de medição, podemos dividir estes seis componentes em dois grupos, um correspondente às bombas e outro aos motores.

No caso das bombas, é medida a vibração RMS vertical de acordo com ISO 2372, são obtidos os parâmetros de condição através do método EVAM para a vibração horizontal e é utilizado o SPM (*shock pulse method*) com espectro, que como referido anteriormente engloba a medição da magnitude do pulso de choque através do método dBm/dBc.

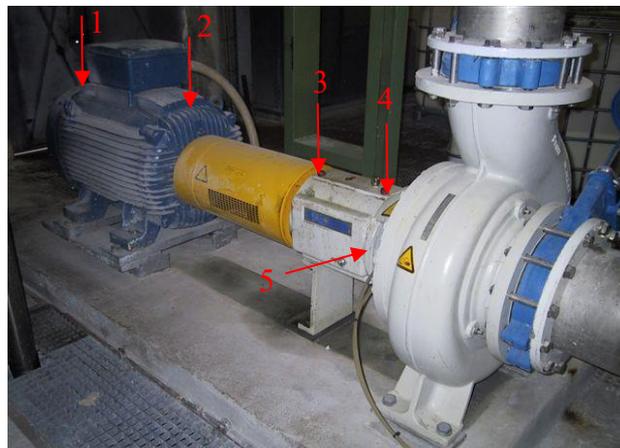
No caso dos motores, é apenas aplicado o SPM (shock pulse method) com espectro.

O transdutor piezoelétrico, é utilizado para a aplicação do método SPM com espectro e respetiva medição da magnitude do pulso de choque, sendo posicionado tanto na bomba como no motor, na direção vertical, através da execução de pressão sobre a ponta deste, tal como referido anteriormente. Esta é a direção escolhida, uma vez que é nela que se obtém valores mais elevados.

O acelerómetro piezoelétrico, é utilizado na bomba para a aplicação do método EVAM, ficando apoiado no equipamento através do íman que possui na extremidade. A medição com este acessório é realizada na direção vertical e no rolamento do lado oposto ao acoplamento, também na direção horizontal, de forma a detetar as vibrações nestas duas direções.

Como se sabe, existindo dois rolamentos em cada um destes equipamentos, um no lado do acoplamento e outro no lado oposto, as medições são realizadas em todos estes.

Na figura 5.14. é possível identificar os diversos pontos mencionados, correspondendo os pontos 1, 2, 3 e 4 à medição com o transdutor piezoelétrico e os pontos 4 e 5 à medição com o acelerómetro piezoelétrico.



**Figura 5.14.** Pontos de medição dum conjunto motor-bomba

Estando presente em diversas medições, pôde-se observar a correta aplicação destas recomendações em todos os equipamentos analisados, tal como demonstrado nas figuras 5.15. a 5.18.



**Figura 5.15.** Medição com transdutor de piezoelétrico numa bomba



**Figura 5.16.** Medição com transdutor piezoelétrico num motor



**Figura 5.17.** Medição horizontal com acelerómetro piezoelétrico



**Figura 5.18.** Medição vertical com acelerómetro piezoelétrico

Prosseguindo para a análise dos valores obtidos pelo aparelho de medida, comparando as especificações de todos estes equipamentos, acima apresentadas nas tabelas 5.1 a 5.3, com as descrições de classes que a norma ISO 2372 possui, conclui-se que os equipamentos se enquadram na descrição da classe II presente na figura 5.19., tal como os técnicos já tinham definido previamente.

**Class II :** Medium-sized machines, (typically electrical motors with 15 to 75 kW output) without special foundations, rigidly mounted engines or machines (up to 300 kW) on special foundations.

**Figura 5.19.** Descrição da classe II de vibração da norma ISO 2372 [17]

Através da figura 5.7., retirou-se então, que os valores limite para estes equipamentos são, 2,8 mm/s na transição da faixa verde para amarela e 7,1 mm/s na transição da faixa amarela para a faixa vermelha.

No caso dos parâmetros de condição obtidos pelo método EVAM, apesar de também existirem limites definidos em normas, nunca foram utilizados para a análise das vibrações pelo técnico, comparando este apenas os valores obtidos uns com os outros.

Realizando uma pesquisa pelas normas destinadas à análise de vibrações, ISO 2372 e ISO 10816, encontrou-se uma tabela com os limites de deslocamento RMS e velocidade RMS para a classe a que os equipamentos pertencem. Esta tabela pode ser vista na figura 5.20. onde estão assinalados os valores pretendidos.

**Table A.2 — Classification of vibration severity zones for machines of Group 2:  
Medium-size machines with rated power above 15 kW up to and including 300 kW;  
electrical machines with shaft height  $160 \text{ mm} \leq H < 315 \text{ mm}$**

Support class	Zone boundary	R.m.s. displacement	R.m.s. velocity
		$\mu\text{m}$	$\text{mm/s}$
Rigid	A/B	22	1,4
	B/C	45	2,8
	C/D	71	4,5
Flexible	A/B	37	2,3
	B/C	71	4,5
	C/D	113	7,1

**Figura 5.20.** Zonas de gravidade de vibração classe II da norma ISO 10816-3 [18]

Tendo em conta que tanto na medição da vibração através da norma ISO 10816, como através do método EVAM, se obtém estes dois parâmetros de condição, estes limites podem ser utilizados para qualquer um dos dois métodos.

No entanto, o método EVAM fornece mais dados que apenas o deslocamento e velocidade RMS. Com uma busca na literatura, para os seguintes parâmetros foi possível concluir que a diferença entre a velocidade pico e pico-a-pico não deve ser muito elevada, e que os valores de alarme de desequilíbrio oscilam entre 3 e 8 mm/s, sendo, contudo, neste último caso muito importante realizar a comparação dos valores obtidos com o histórico e não unicamente com os limites.

Para a magnitude de pulso de choque os valores são iguais para qualquer equipamento, tendo já sido indicados na descrição do método dBm/dBc. O mesmo acontece para o caso dos sintomas. Utilizando a empresa, a unidade SL, para a medição destes e correspondendo esta ao componente RMS da frequência, os valores obtidos não deverão passar o valor 1.

Todos os sintomas possuem uma frequência característica, 1x, relativa ao pico de 1ª ordem. Um valor igual ou superior a 1 indica a presença desta frequência e por vezes dos seus harmónicos no rolamento.

Terminada a recolha de toda esta informação, iniciou-se a compilação de todos os dados históricos de medição de cada equipamento, guardados tanto no aparelho de medida, como no *software* SPM Condmaster®Nova.

A estes dados foram acrescentados os valores obtidos nas medições executadas no decorrer do estágio, gerando-se os gráficos e tabelas que devido ao seu elevado volume, se encontram presentes no Apêndice A.

Relativamente ao conjunto motor-bomba da 1ª fase do setor da depuração da mesa inferior, tanto no lado do acoplamento como no lado oposto a este, no motor, foram sempre registados valores de magnitude de pulso de choque dentro da faixa verde, indicadora de bom estado do equipamento. Detetou-se a obtenção de valores elevados em duas leituras de dia 10/10/2018, não se entendendo muito bem se poderão ter sido medições mal realizadas ou não, pois nesse mesmo dia, foram realizadas outras duas nas quais se obtiveram valores aceitáveis. O mesmo acontece com os sintomas que ao contrário do habitual, nessas mesmas medições, registaram-se valores acima dos limites de alarme.

No caso da bomba, em ambos os lados, os valores de magnitude de pulso de choque apesar de se encontrarem muito próximos da transição para faixa amarela, oscilam pouco entre si. Este fenómeno é visível em muitos equipamentos e é uma prova de que mesmo existindo valores limite definidos, estes por vezes têm de ser ajustados a cada equipamento, uma vez que podem aumentar por exemplo com o tempo de vida do equipamento ou com o seu modo de funcionamento.

Quanto aos valores dos sintomas, no lado do acoplamento os valores geralmente localizam-se longe do valor limite, ao contrário do lado oposto ao acoplamento. No lado oposto, ainda assim, nas medições realizadas no decorrer do estágio, obtiveram-se valores mais elevados. O mesmo se verificou com os valores de velocidade RMS horizontal.

A vibração vertical usualmente tem valores aceitáveis de acordo com a norma ISO 2372, à exceção do último valor registado que se encontra justamente no limite inferior da faixa amarela.

Toda esta observação dos últimos valores, levou a uma preocupação por parte do técnico responsável pela análise de vibrações, que tendo em conta isto e o histórico de intervenções que a bomba detém agendou a sua substituição, com a certeza de que os valores baixarão e podendo realizar a sua inspeção para um novo uso desta no futuro.

No conjunto motor-bomba da 2ª fase do setor da depuração da mesa inferior, ainda que os valores normais de magnitude de pulso de choque se fixem próximo do limite da faixa amarela, tanto para a bomba, como para o motor, nas últimas medições parecem estar ligeiramente mais elevados.

Os sintomas do motor, historicamente são um pouco altos, notando-se uma elevada leitura do sintoma FTF no lado do acoplamento, chegando a ultrapassar o limite estabelecido. Posto isto, o técnico definiu que este deverá ser analisado.

---

Na bomba, os sintomas e o valor RMS do deslocamento horizontal sempre permaneceram nos valores aceitáveis, ao contrário dos valores de velocidade RMS, de diferença de velocidades pico e pico-a-pico e de vibração vertical segundo a norma ISO 2372, que nos últimos dois anos se enquadram na faixa do amarelo. Para este equipamento está definida uma substituição dos rolamentos durante a paragem geral, com a qual se espera uma melhoria significativa do funcionamento do conjunto e, conseqüentemente, uma descida dos valores gerados.

É de salientar que dos três equipamentos analisados, este é o que menos pontos de medição tem identificados, podendo isto provocar alguma destas discrepâncias.

Passando por fim à análise dos valores do conjunto motor-bomba da 3ª fase, foi possível verificar que tanto os valores de magnitude pulso de choque, como os parâmetros de condição do método EVAM, os valores vibração vertical através da ISO 2372 e os sintomas se encontram dentro de todos os limites estabelecidos, mostrando assim um bom estado do equipamento e dos seus componentes e uma correta medição dos parâmetros.

Ao observar em atenção a tendência dos resultados, detetou-se uma melhoria considerável dos valores obtidos no motor após novembro de 2020. Após uma pesquisa no *software* de gestão de trabalhos do SME, encontrou-se referência à execução de uma revisão neste equipamento nesta altura, podendo ser a explicação para este acontecimento.

Uma vez que, nos últimos anos o número de medições efetuadas foi inferior ao recomendado, a obtenção de valores elevados nas últimas medições poder-se-á dever ao aumento deste número no decorrer do estágio.

No decorrer do estágio, como é de esperar, ocorreram diversas avarias nos equipamentos. Para duas destas avarias, a técnica de análise de vibrações teve um papel muito importante, uma vez que num dos casos detetou a avaria e no outro comprovou a existência desta.

Seguindo uma ordem cronológica, o primeiro caso foi a chumaceira nº12 do veio geral secundário. No dia 15 de março, foi detetada uma vibração (visual) anormal nesta chumaceira, que em vez de ser encarada como uma outra anomalia, ao pertencer a um equipamento tão crítico e devido ao facto da sua ocorrência ter coincidido com uma paragem programada da máquina para substituição dum componente da produção, foi intervencionada no momento. Assim, aproveitado este facto, a equipa dos técnicos de manutenção posição mecânico, procedeu à abertura da chumaceira e verificou que devido a uma rotura na bucha,

apenas o veio se encontrava a girar estando a bucha e o rolamento parados, provocando um desgaste notório no veio e a consequente vibração do conjunto. Esta parte do veio foi retirada e foi efetuada a maquinação do veio na zona danificada, aplicados dois "meios" casquilhos por processo de soldadura, seguido de retificação final para a cota da bucha.

Apesar de ter sido a melhor opção para o pouco tempo que havia até a máquina voltar a funcionar, esta poderá não ter sido a melhor solução a longo prazo, pois um pequeno desnível entre o diâmetro do veio e do casquilho, é o suficiente para o aparecimento de danos maiores. Crê-se que foi o que aconteceu de seguida, pois as leituras de magnitude do pulso de choque seguintes foram mais altas que o normal e a chumaceira encontrava-se mais quente que o veio à entrada desta, o que deveria acontecer de forma inversa. Estes valores foram então sendo acompanhados e decidiu-se aumentar a lubrificação deste componente, o que levou a uma diminuição de grandeza dos valores obtidos atingindo assim valores aceitáveis. Concluiu-se que o pequeno desnível terá provocado a necessidade de aumentar a quantidade de lubrificante aplicado neste equipamento. Mesmo com a obtenção de valores aceitáveis, a chumaceira continua em permanente vigilância, pois considerou-se que a intervenção se tratou duma intervenção de manutenção corretiva do tipo paliativo e não do tipo curativo.

Outra opção poderia ser tomada para combater este problema, como por exemplo a aplicação dum revestimento no veio, no entanto, para a paragem geral deste ano está programada a retirada de toda esta transmissão da máquina e a sua substituição por um acionamento direto, não sendo viável para a empresa um investimento superior para este veio.

Fazendo agora uma análise aos valores obtidos, através dos gráficos representados no Apêndice B, é passível de apreciação, a subida dos valores de magnitude do pulso de choque dBm/dBc obtidos após a deteção da anomalia, sendo que estes atingiram o seu valor máximo na faixa vermelha, já depois do problema ser corrigido, acabando por estabilizar posteriormente, mas em valores ainda assim superiores aos anteriores à intervenção, na faixa amarela.

Relativamente aos valores dos sintomas, estes pouco variaram, sendo apenas de notar uma subida do sintoma FTF aquando a deteção do problema, que seria compensada posteriormente à intervenção. Este sintoma é representativo do número de voltas que a gaiola do rolamento faz por cada volta completa do eixo. Uma vez que o problema não se

encontrava maioritariamente relacionado com o rolamento, o facto deste valor se apresentar elevado poderia levar os técnicos a conclusões erradas e conseqüentemente a modos de atuação não adequados, gerando uma perda de tempo, dinheiro e recursos. Isto leva-nos a concluir que estes valores relativos aos sintomas são meramente indicativos de possibilidades de ocorrência e não diagnósticos em si.

Quanto ao modo de como a medição é realizada nesta chumaceira, ao ser um equipamento sem potência, acionado com o movimento transmitido por outro equipamento, aqui não se efetua a medição da quantidade de vibração. Utilizando o transdutor piezoelétrico, o técnico efetua a medição da magnitude do pulso de choque através duma medição horizontal.

De acordo com a literatura, a medição deve ser efetuada na zona de carga do rolamento, considerando a direção da força que atua sobre o veio quando este se encontra a girar.

Assim, dado que neste equipamento atuam forças em duas direções, a medição é realizada nestas duas, tal como representado nas figuras 5.21 e 5.22. Uma das forças é uma força horizontal, consequência do peso da polia. A outra força é provocada por um conjunto de polias unidas por uma correia que permite a transmissão do movimento originado por um motor de acionamento localizado num veio paralelo ao veio geral. A polia deste veio, estando localizada um pouco acima da polia do veio geral, leva a que na rotação destas duas, a tensão da correia cause uma força no veio, na direção representada na figura 5.21.



**Figura 5.21.** Medição vertical pulso de choque chumaceira nº12



**Figura 5.22.** Medição horizontal pulso de choque chumaceira nº12

O segundo caso de avaria foi a bomba do tinão de mistura, na qual, a 6 de abril, ao se realizarem as medições para a paragem geral, se obteve valores muito elevados e detetou um ruído não habitual. Nesta procedeu-se de forma habitual, tendo-se iniciado com uma tentativa de aumento de lubrificação e com um acompanhamento da evolução do problema. Uma vez que o aumento de lubrificação não provocou uma diminuição na leitura dos dados, a intervenção da bomba teve de ser agendada para uma paragem de curta duração já prevista. A 14 de abril, a bomba foi substituída por uma de reserva, verificando-se uma descida drástica na grandeza dos valores obtidos nas medições posteriores. De modo a entender o que estaria a provocar esta anomalia e de forma a reparar a bomba e colocá-la de reserva, a equipa de técnicos de manutenção posição mecânico, iniciou a sua vistoria, tendo concluído que o problema seria precisamente nos rolamentos.

O rolamento do lado do acoplamento apresentava um pouco de desgaste, enquanto que o rolamento do lado oposto ao acoplamento para além dum elevado nível de desgaste na sua pista externa, figura 5.23, apresentava também uma notável fissura provocada por fadiga, no meio desta pista, que no retirar do rolamento da bomba acabou por sofrer uma rotura, figura 5.24. Inicialmente pensou-se que a rotura poderia ter sido originada unicamente na retirada do rolamento, no entanto, ao observar a fissura ao pormenor detetou-se oxidação ao longo desta, mas não nas pontas da parte que se tinha partido, concluindo-se assim que a fissura já se encontrava formada há tempo suficiente para se formar esta oxidação e que a rotura era recente.



**Figura 5.23.** Danos na pista externa do rolamento do lado oposto ao acoplamento



**Figura 5.24.** Rotura no rolamento do lado oposto ao acoplamento do tinão de mistura

Se analisarmos o histórico dos valores de magnitude de pulso de choque obtidos pelo aparelho de medição, presente no Apêndice B, observamos que o motor deste conjunto é caracterizado por apresentar valores de leitura muito elevados estando estes sempre acima da faixa do amarelo, ou seja, indicando que deverá ser tomada atenção de modo a evitar danos maiores.

No lado do acoplamento, estes valores de magnitude do pulso de choque, aumentaram ligeiramente na ocorrência do problema, ultrapassando os limites inferiores da faixa do vermelho, tal como já é normal ocorrer neste equipamento. Após a substituição da bomba, os valores ainda que altos como habitual, baixaram ligeiramente entrando na faixa do amarelo. Já no lado oposto ao acoplamento, a magnitude de pulso de choque contrariamente ao esperado, baixou na ocorrência do problema e continuou em constante subida após a sua resolução.

As leituras dos sintomas, especialmente nos casos dos sintomas BSF, BPF1 e respetivos modulados, apesar de numa das medições do dia 6 de abril terem originado valores muito elevados, não terão sido tidas em conta pois provavelmente foram resultantes duma má medição, uma vez que a outra medição desse dia e mesmo a do dia seguinte foram dentro dos valores normais. O mesmo ocorreu numa das leituras de dia 11 de maio já após a resolução da anomalia.

No caso da bomba, que foi o componente que efetivamente apresentava a anomalia, sendo um equipamento que normalmente possui valores de magnitude de pulso de choque baixos (zona do verde), tanto no lado do acoplamento, como no lado oposto a este, aquando a deteção da anomalia, originou valores alarmantes, já na faixa indicadora de mau estado. Todos estes valores tal como esperado, normalizaram após a substituição da bomba.

Os sintomas desta, por sua vez, subiram ligeiramente neste período, mas não de forma alarmante, à exceção do sintoma BPF0 (anomalia na pista externa do rolamento) no lado oposto ao acoplamento, que ainda que não tenha subido acima de um valor limite, foi o sintoma que mais subiu.

Tendo em conta a causa da anomalia, faz todo o sentido o aumento deste valor. Na interpretação dos resultados, este dado não foi tido em conta pois os valores dos sintomas obtidos, não foram analisados em comparação com o histórico, mas sim com o valor limite.

Uma vez que a anomalia foi resolvida num intervalo de tempo relativamente pequeno e que existia uma bomba de substituição, a não análise deste sintoma não fez grande

diferença. No entanto, em casos em que não existem equipamentos de substituição, ou que a possibilidade de intervenção seja num espaço temporal muito distante, esta informação seria fundamental para a escolha da forma de intervenção.

Considerando as características desta bomba presentes na tabela 5.4 e a descrição da classe II da norma ISO 2372 presente na figura 5.19., este equipamento pode ser definido como pertencente a esta classe, sendo para a sua análise utilizado os valores limite para esta definidos na figura 5.20.

Assim, quanto aos valores correspondentes à vibração vertical, apesar do histórico indicar a ocorrência de valores por vezes mais altos que o esperado, os valores obtidos no decorrer do problema foram consideravelmente mais elevados que os anteriormente detetados, não chegando a estar muito distantes do limite inferior da faixa vermelha para a classe do equipamento. Atualmente estes valores encontram-se dentro do limite estabelecido.

Utilizando a medição da vibração horizontal através do método EVAM, no surgimento do problema, verificou-se um aumento significativo dos parâmetros de condição, chegando a atingir valores muito acima dos limites estabelecidos pela norma ISO 2372. É de salientar que na medição anterior à substituição da bomba, foram obtidos os maiores valores dos parâmetros, chegando o deslocamento RMS a atingir a faixa amarela, a velocidade RMS a faixa vermelha e um valor elevado de desequilíbrio, levando à conclusão de que a intervenção ainda que pudesse ser realizada um pouco antes, foi a tempo de evitar danos muito maiores que poderiam não ter solução.

Apesar dos valores terem baixado de seguida, a última medição do dia 6 de junho, apresenta resultados elevadíssimos. Tendo em conta que são valores completamente fora do normal, conclui-se que apenas poderão ser valores resultantes de uma má medição, não podendo ser utilizados para uma análise correta.

Através desta análise e após o estudo de toda a bibliografia existente acerca da análise de vibrações, sabendo os dados que esta nos é capaz de fornecer e aquilo que nos permite concluir não se compreende como estas duas avarias não puderam ser detetadas num estado mais precoce, quer seja através da medição da magnitude de pulso de choque, quer seja através da análise espectral, tendo-se agido apenas quando o tipo de manutenção já era corretivo e não preventivo.

Foi ainda possível concluir que por vezes o aparelho efetua leituras erradas, quer seja, por não estar bem posicionado, ou por simplesmente pela existência dum fator externo no momento da medição. Perante estas situações, é fundamental que o técnico esteja sempre com atenção aos valores que está a obter de modo a poder atuar em concordância. Por exemplo, repetir a medição para verificar se se trata de um erro de leitura ou não.

Habitualmente, quando o aparelho não consegue realizar uma leitura correta na aplicação do método dBm/dBc, obtém-se uma leitura com os valores 9/-9. Se olharmos atentamente para todos os gráficos correspondentes à magnitude de pulso de choque, presentes nos apêndices, podemos ver que isto ocorre em várias leituras:

- Dia 08/04/2016 – Bomba da 1ª fase A; Bomba da 2ª fase A; Motor-bomba da 1ª fase OA;
- Dia 12/01/2016 – Motor-bomba da 1ª fase A; Motor-bomba da 1ª fase OA;
- Dia 15/01/2016 - Motor-bomba da 1ª fase A; Motor-bomba da 1ª fase OA (aqui também ocorreu sintomas = 0)

Apesar dos valores 9/-9 estarem dentro do intervalo de valores aceitáveis, o facto de nunca serem registados de forma única, levam à conclusão de que efetivamente nestas medições algo não se desenvolveu corretamente.

Ainda assim, pode existir uma leitura mal realizada isolada, como é o caso da 1ª leitura do dia 10/10/2019, na qual se apresentam valores de magnitude de pulso de choque e sintomas muito elevados, sendo que na 2ª leitura desse mesmo dia, os valores já se encontram dentro do normal relativamente ao histórico.

Por fim, embora não influencie em nada a fiabilidade dos resultados, detetou-se que por vezes, a medição apesar de ser realizada no lado correto do equipamento, está associada no aparelho de medição ao local errado.

### **5.2.3. Planeamento da manutenção**

Concluído o estudo do modo de implementação da técnica de análise de vibrações, analisou-se como a informação obtida com esta técnica contribui como ferramenta para o planeamento da manutenção.

Como referido anteriormente o *software* do aparelho de medida, após a descarga das leituras, é capaz de gerar uma lista com os valores de magnitude de pulso de choque e de vibração vertical obtidos na última medição. Esta lista é impressa pelo técnico responsável

pela análise das vibrações que compara cada valor obtido com o histórico de cada equipamento. Para esta análise, o técnico desenvolveu o conjunto de símbolos representados na tabela 5.7, que utiliza para mais fácil identificar quais os valores anómalos e conseguir definir um modo de atuação adequado.

**Tabela 5.7.** Simbologia para análise dos valores de vibração obtidos

<b>Símbolo</b>	<b>Definição</b>
↗	Subiu ligeiramente
↘	Desceu ligeiramente
↑	Subiu
↓	Desceu
↑↑	Subiu muito
↓↓	Desceu muito

Nas figuras 5.25 e 5.26 é possível ver as partes da última lista gerada, referentes aos equipamentos em estudo, à exceção da chumaceira nº12, que como indicado previamente será retirada de funcionamento. Como se pode verificar, o motor da bomba do tinão de mistura apresentou valores de magnitude de pulso de choque elevados, tendo estes sido assinalados com o símbolo ↑ e definido que nesta paragem este equipamento deverá ser beneficiado. Foi também anotada a existência de folga no veio, que o técnico pôde verificar visualmente ao realizar a medição. Esta intervenção, apesar de estar planeada para a paragem geral, foi realizada numa paragem de curta duração (cerca de 5 dias) que ocorreu no mês de junho, aproveitando o facto da máquina estar parada e reduzindo o número de intervenções na paragem geral.

Já no caso da bomba de mistura da 1ª fase da depuração da mesa inferior, os seus valores não foram analisados uma vez que esta será substituída este ano. Todos os equipamentos sujeitos a substituição por um outro em reserva, são posteriormente analisados e sujeitos a reparações, de modo a poderem integrar a função de reserva.

No motor da bomba da 2ª fase da depuração da mesa inferior, uma vez detetados valores elevados e não existindo uma possível causa para esta ocorrência, o motor deverá ser analisado para identificar a origem da anomalia.

Ao se terem obtido valores elevados tanto da magnitude de pulso de choque como de vibração vertical, a bomba da 2ª fase da depuração da mesa inferior para além de ser

analisada para identificar possíveis danos no seu interior, deverá ser sujeita a uma troca de rolamentos.

Por último, tendo o conjunto motor-bomba da 3ª fase da depuração da mesa inferior uma leitura de valores excelentes, este apenas sofrerá as intervenções habituais.

MotorBombaTinãoMist-Rol lado op acopl	06-06-2022	13:12	dBm:34	dBc:27 ↑
MotorBombaTinãoMist-Rolam lado acopl	06-06-2022	13:12	dBm:34	dBc:25 ↑
BombaTinãoMistura-Rolam lado acopl	06-06-2022	13:12	dBm:9	dBc:-3 VibV:0.82
BombaTinãoMistura-Rol lado op acopl	06-06-2022	13:13	dBm:7	dBc:-7
Motor Bomba da 3ª fase MI - LOA	06-06-2022	13:15	dBm:12	dBc:-9
Motor Bomba da 3ª fase MI - LA	06-06-2022	13:15	dBm:14	dBc:1
Bomba3ª fase MI - rolam lado acoplamento	06-06-2022	13:16	dBm:14	dBc:1
Bomba3ª fase MI - rolam lado oposto acopla	06-06-2022	13:16	dBm:18	dBc:8 VibV:0.93
MotorBombaMistMI-Rolam lado op acopl	06-06-2022	13:17	dBm:12	dBc:0
MotorBombaMistMI-Rolam lado acopl	06-06-2022	13:18	dBm:3	dBc:-6
BombaMistMI-Rolam lado acoplamento	06-06-2022	13:18	dBm:16	dBc:-6
BombaMistMI-Rolam lado op acopnt	06-06-2022	13:18	dBm:18	dBc:-5 VibV:1.79

Figura 5.25. Lista com valores de medição obtidos gerada por SPM Condmaster®Nova

MotorBomba2ºf MI-rolam lado op acopl	06-06-2022	13:24	dBm:7	dBc:-4
MotorBomba2ºf MI-rolam lado acoplam	06-06-2022	13:24	dBm:27	dBc:5 ↑
Bomba2ª fase MI - rol lado oposto acopla	06-06-2022	13:25	dBm:28	dBc:7 ↑ VibV:2.69 ↑
Bomba 2ª fase MI - Rolam lado acoplamento	06-06-2022	13:26	dBm:26	dBc:2 ↑

Figura 5.26. Lista com valores de medição obtidos gerada por SPM Condmaster®Nova

Todas estas conclusões obtidas a partir desta lista serviram de ferramenta para a elaboração dos cadernos de encargos da paragem geral deste ano, à exceção das referentes ao motor da bomba do tinão de mistura.

Na Prado - Cartolinas da Lousã, S.A., para a paragem geral de manutenção, são elaborados quatro cadernos de encargos: ETA, ETAR'S e matérias primas; Mesas e prensas; Secaria; Rede de vapor.

Nestes cadernos de encargos são especificadas todas as ações a realizar em cada equipamento. Estes são elaborados com base nos cadernos de anos anteriores e ajustados de acordo com as necessidades detetadas ao longo do ano quer seja através das equipas de

técnicos de manutenção, quer seja através das informações relatadas pelo responsável de produção e pelos operários nas folhas de registo diário.

O responsável dos técnicos de manutenção posição mecânico, juntamente com um técnico da DI/SME, realiza uma visita aos equipamentos da fábrica de modo a verificar quais as ações a tomar para cada um deles, seguindo o que foi definido em cadernos de anos anteriores e adaptando às necessidades atuais. A ajuda deste técnico é fundamental, uma vez que a sua equipa é a que melhor conhece o funcionamento, avarias e especificações de todos os equipamentos existentes. Nalguns casos em específico, pede-se aos operadores que elaborem uma lista com tudo aquilo que consideram necessário intervir durante a paragem geral na sua zona de trabalho.

Depois de compilar todos estes dados, a DI/SME elabora os devidos cadernos de encargos e inicia as consultas no mercado, de modo a realizar a subcontratação de empresas especializadas e meios humanos. Ao mesmo tempo que decorre esta fase e por vezes até um pouco antes, realiza-se um levantamento das peças de reserva mais imprescindíveis, de modo a entender se o que existe no sistema informático é o que realmente existe em armazém, se é necessário mais material que o existente em stock ou se determinada peça pode ser fornecida pela empresa subcontratada.

Esta pesquisa envolve um trabalho muito minucioso, uma vez que têm de ser analisadas as quantidades de stock de anos anteriores, as quantidades gastas, as quantidades que sobraram, as necessidades para os trabalhos definidos a realizar e com isto fazer-se uma estimativa do que poderá ser gasto este ano. É fundamental realizar esta ação, dado que para que as intervenções corram bem e dentro do tempo estipulado deve estar disponível todo o material necessário, mas ao mesmo tempo, muito arriscada, pois poder-se-á estar a investir dinheiro desnecessariamente. O truque para isto, é então basear-se nos anos anteriores e tentar que nem sobre demasiadas peças, nem não falem muitas.

Todos os anos devido à enorme quantidade de equipamentos interviridos e peças requeridas, existe sempre material em falta que só é detetado no momento da intervenção. Este material é então comprado no decorrer da paragem geral, sendo maioritariamente material de fácil obtenção, por exemplo parafusos, implicando o funcionamento do departamento de compras na paragem geral.

No Anexo A, estão disponíveis as páginas dos cadernos de encargos elaborados pelo Serviço de Manutenção e Energia este ano, referentes aos equipamentos estudados. É

possível verificar que as ações definidas na análise da lista dos valores de vibrações obtidos e mencionadas anteriormente, estão presentes neste caderno.

No decorrer do estágio foi possível presenciar a execução de tarefas de manutenção definidas no plano de manutenção anual, que sendo de menor duração são realizadas nas paragens de curta duração. No entanto, ao conhecer a dinâmica da empresa, facilmente se concluiu que existe uma grande dificuldade em planear estas intervenções pontuais, uma vez que existem muitas ocorrências não previstas às quais tem de ser dada mais importância.

#### **5.2.4. Proposta de melhorias**

Terminada a exposição do trabalho desenvolvido e com base no vivenciado ao longo de estágio é possível identificar diversas ações de melhoria a adotar num futuro próximo.

Começando pela análise de vibrações, tendo em conta a importância que a técnica tem para a continuidade do funcionamento de todo o equipamento da empresa e conseqüentemente toda a produção, a aposta na formação do responsável pela análise deveria ser uma ação a tomar com a maior brevidade possível. Com a maior brevidade possível deveria também ser aumentada a periodicidade das medições, de modo a potenciar as vantagens da técnica.

Relativamente à análise dos valores obtidos, deveria ser prestada mais atenção aos sintomas em termos históricos, ou seja, comparar os valores obtidos não só com os valores limite, mas também com os valores habituais do próprio equipamento. O contrário deve ser feito na aplicação do método EVAM na medição da vibração horizontal, sendo uma mais valia, a utilização dos limites estabelecidos pela norma ISO 10816.

Como referido anteriormente, nem todas as funções estão devidamente inseridas no aparelho de medição, devendo-se apenas quando possível proceder à correção destas, uma vez que não é algo que influencie fortemente a análise dos dados.

Tendo assistido à análise de vibrações de diversos equipamentos e tendo verificado que todos os equipamentos têm diferentes pontos de medição de acordo com a sua configuração e forças que nele atuam, é fundamental que todos os pontos de medição estejam devidamente identificados de modo a existir uma maior fiabilidade nos valores obtidos. Seria também uma mais valia, que fosse realizado um estudo dos desenhos de cada equipamento de modo a perceber se efetivamente se está a realizar as medições na zona pertencente ao rolamento. Após isto, a elaboração dum procedimento escrito e com imagens, do processo

da análise de vibrações, ajudaria a combater a perda de informação aquando a mudança do responsável pela análise. Esta ação poderia até permitir que um operário pudesse, com um aparelho mais básico, realizar uma medição de vibração nos equipamentos mais críticos durante o seu turno e em caso de anomalia avisar o técnico responsável pela técnica para este realizar uma análise mais detalhada. Isto certamente provocaria uma maior consciencialização do próprio operário acerca dos equipamentos com que trabalha, um aumento da periodicidade das medições e a consequente deteção mais rápida de anomalias.

No decorrer do estágio foi possível entender que muitas vezes toda a equipa do Serviço de Manutenção e Energia devido à enorme quantidade de tarefas que tem a realizar e à pequena quantidade de meios humanos, se depara com dificuldades em conseguir conciliar todos os trabalhos. Um investimento numa pequena formação aos operários acerca das possíveis falhas dos equipamentos com que trabalham diariamente e o modo de resolução das mais fáceis, permitiria que a equipa de técnicos de manutenção posição mecânico focasse o seu trabalho nas avarias de maior complexidade e pudesse atuar na resolução destas mais rapidamente, em vez de ter de iniciar com a procura da localização ou causa desta.

Tal como acontece com a medição da temperatura, nas rondas de verificação efetuadas semanalmente pelos técnicos de manutenção posição mecânico, poderia ser adicionada a análise dos óleos através de pequenos instrumentos disponíveis no mercado, que apesar de não fornecerem uma análise detalhada, são capazes de detetar contaminações de água, combustível, conteúdo metálico e oxidação.

Como referido anteriormente, com a realização deste trabalho detetou-se a existência duma lacuna muito grande de informação acerca das intervenções realizadas nos equipamentos, que apesar de já estar a ser combatida deve ser tida em atenção para que não volte a ocorrer.

Ainda que os *softwares* utilizados pela empresa, tendo sido desenvolvidos internamente, possuam uma grande variedade de informação e funções, um pequeno investimento nestes contribuiria certamente para uma mais fácil gestão do Serviço de Manutenção e Energia. Por exemplo, a cada uma das fichas dos equipamentos deveriam estar associadas todas as intervenções realizadas neste, facilitando a pesquisa.

Todas estas são possíveis ações que sendo mais simples ou mais complexas de implementar, poderão contribuir muito positivamente para uma melhoria não só no Serviço de Manutenção e Energia, mas em toda a Prado- Cartolinas da Lousã, S.A.

## 6. CONCLUSÕES

Estando a análise de vibrações diretamente associada a um aumento do diagnóstico de anomalias dos equipamentos e conseqüentemente à maior disponibilidade destes, esta é uma técnica com extrema importância para qualquer empresa produtiva que se queira destacar na qualidade e eficiência do seu serviço. É, no entanto, fundamental a sua correta aplicação, elevando sempre que possível as suas vantagens.

Com o trabalho desenvolvido no âmbito da presente dissertação, alcançaram-se positivamente os objetivos definidos inicialmente. Realizando uma pesquisa sobre a análise de vibrações, sobre o modo de funcionamento do equipamento de medida, assistindo à realização de medições e à ocorrência de duas avarias, foi possível concluir que esta técnica em muito pode ser melhorada, de modo a que a empresa possa usufruir de todas as suas potencialidades e ainda permitir que seja efetivamente utilizada como ferramenta de diagnóstico da manutenção preventiva e não da manutenção corretiva.

Não obstante, a detecção de anomalias por parte dos profissionais que diariamente trabalham com os equipamentos, deverá sempre ter sido em grande consideração, uma vez que estes conhecem os equipamentos melhor que ninguém e que a sensibilidade humana em muito supera a capacidade de qualquer máquina.

Esperando que algumas das sugestões sejam implementadas, num futuro trabalho seria interessante concluir se o investimento na formação do técnico responsável, o aumento na periodicidade de medições, a utilização da norma ISO 10816 para a análise dos valores de vibração horizontal através do método EVAM e a existência de um histórico completo das intervenções realizadas nos equipamentos, provocará efetivamente um aumento significativo das vantagens de aplicação desta técnica.



---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Prado Cartolinas da Lousã, S.A. (2022). Obtido de <https://www.papeldoprado.com/pt/>
- [2] Cabral, J.S. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção – dos conceitos à prática*. Lisboa: Lidel, Edições Técnicas
- [3] Ramalho, Amílcar (2020). *Métodos – Gabinete Técnico de Manutenção*. Apontamentos da cadeira de Manutenção
- [4] Instituto Português da Qualidade. NP EN 13306 (2007). *Terminologia da Manutenção*
- [5] Ramalho, Amílcar (2020). *Manutenção Condicionada de Máquinas Rotativas*. Apontamentos da cadeira de Manutenção
- [6] <https://www.forbes.com/sites/sap/2021/06/15/industry-40-is-a-key-enabler-of-maintenance-strategies/?sh=4d584be01f4c>, acessado a 12 de setembro de 2022
- [7] Ramalho, Amílcar (2020). *Organização Estrutural e Formas de Ação*. Apontamentos da cadeira de Manutenção
- [8] Oliveira, João Carlos (2020). *Apresentação e enquadramento*. Apontamentos da cadeira de Órgãos de Máquinas
- [9] White, Glen (1990). *Introducción al Análisis de Vibraciones*. Azima DLI. Obtido a 14 de setembro de 2022 em [https://issuu.com/noelurban/docs/glen\\_white\\_-\\_introduccion\\_al\\_analis](https://issuu.com/noelurban/docs/glen_white_-_introduccion_al_analis)
- [10] <https://www.d4vib.com/funcoes-de-um-canal-no-dominio-do-tempo-num-analisador-de-vibracoes/>, acessado a 7 de junho de 2022
- [11] Power – MI (2018). *Manual Análisis de Vibraciones*. Obtido a 15 de março de 2022 em [http://power-mi.vibration\\_manual.pages.ontraport.net/](http://power-mi.vibration_manual.pages.ontraport.net/)
- [12] Carnero, M.C. (2003). *Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program. A case study*. Decision Support Systems(38): 539-555
- [13] Ramalho, Amílcar (2020). *Planeamento da Manutenção*. Apontamentos da cadeira de Manutenção
- [14] Prado Cartolinas da Lousã, S.A. (2018). *Procedimento DI/SME*

- [15] SPM Instrument AB (2006). *Leonova™ Infinity - User Guide*
- [16] SKF Reliability Systems (2004). *Tecnologia de vibrações*. Obtido a 28 de junho de 2022 em <https://xdocs.com.br/doc/05-cap-05-normas-de-vibracao-2855djzqkj8x>
- [17] International Organization for Standardization. *ISO 2372 (1974)*. “*Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s – Basis for specifying evaluation standards*”.
- [18] International Organization for Standardization. *ISO 10816-3 (1998)*. “*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ*”

## ANEXO A



### Paraqem Geral 2022

Levantamento dos Trabalhos  
ETA, ETARs, Matérias-primas e Depuração

#### **2.16 DEPURAÇÃO CABEÇA MÁQUINA**

##### 2.16.1 BOMBA DE MISTURA DA 1ª FASE DA MESA INFERIOR



##### 2.16.1.1 BOMBA

- Substituir bomba por reserva (referência: **B101**);
- Verificação do estado do acoplamento;
- Limpeza geral exterior do equipamento e base;
- Alinhamento do conjunto com equipamento laser;
- Ensaio.

##### 2.16.1.2 MOTOR

- Desligar terminais e proceder à limpeza completa do motor incluindo tampa do ventilador;
- Medir valor da resistência de isolamento;
- Refazer ligações, vedar caixa de ligações.



##### 2.16.1.3 VÁLVULAS

- Beneficiar válvulas (5x) de guilhotina: 1x DN300 + 1x DN250 + 2x DN125 + 1x DN500
- Substituição do cordão, polimento da lâmina, lubrificação do fuso e afinação;

##### **Características:**

- Bomba: SULZER APP51-250, caudal: 210 L/s; altura manométrica: 32m.
- Motor: WEG 315SM4; 110kW; 1480 rpm



## Paragem Geral 2022

Caderno de Encargos:  
Mesas de Fabrico e Prensas

---

### **2.8 GRUPOS ELECTROBOMBA**

#### **2.8.1 BOMBA DA 2ª FASE DA MESA INFERIOR**



Cód.: B008

##### **2.8.1.1 BOMBA**

- Abertura da bomba, limpeza e inspeção de todos os seus componentes: veio, casquilho, chavetas, impulsor, anel desgaste, rolamentos, órgãos de vedação;
- Entrega à PCL, durante os dois primeiros dias da paragem, do **empanque mecânico** para recuperação no exterior.
- Substituição de rolamentos e outros componentes que sejam necessários;
- Montagem do conjunto;
- Lubrificação.

##### **2.8.1.2 MOTOR**

- Retirar ligações elétricas e proceder à limpeza completa do motor incluindo tampa do ventilador;
- Abertura do motor, limpeza e inspeção de todos os seus componentes;
- Substituir rolamentos, acessórios, órgãos de vedação. Eventual envernizamento;
- Lubrificação e medição e registo da resistência isolamento;
- Refazer corretamente as ligações elétricas, vedar caixa de ligações e lubrificar;

##### **2.8.1.3 VÁLVULAS DE GUILHOTINA**

Beneficiar **7 válvulas** guilhotina 3x DN80 + 2x DN100 + 1x DN250 + 1x DN200:

- Verificar desgaste da lâmina, polir se necessário;
- Substituir o cordão de empanque;
- Lubrificar fuso.



## Paragem Geral 2022

Caderno de Encargos:  
Mesas de Fabrico e Prensas

### 2.8.1.4 GRUPO

- Limpeza exterior do grupo eletrobomba;
- Substituição do acoplamento;
- Alinhamento do conjunto com equipamento laser;
- Pintura do conjunto e base;

#### Cores:

Motor- azul RAL 5009

Base- Verde RAL 6018

Bomba-Verde RAL 6018

Proteção-Amarelo RAL 1028

#### **Características técnicas**

##### Bomba

- Tipo ..... Centrífuga, horizontal, unicelular
- Débito ..... 390 m<sup>3</sup> / H
- Altura manométrica ..... 40 m.c.a.
- Velocidade ..... 1450 R.P.M.
- Acionamento ..... Direto

##### Motor

- Motor elétrico trifásico, rotor em c.c., forma B3, 75 kW, 1450 RPM



## Paragem Geral 2022

Levantamento dos Trabalhos  
ETA, ETARs, Matérias-primas e Depuração

---

### 2.16.2 BOMBA DA 3ª FASE DA MESA INFERIOR



Cód.: B061

#### 2.16.2.1 BOMBA

- Abertura da bomba pela voluta, limpeza e inspeção de todos os seus componentes (voluta, impulsor e borrachas do acoplamento);
- Entrega à PCL, nos dois primeiros dias da paragem, o empanque mecânico para recuperação no exterior;
- Substituição de componentes que se verificar ser necessário;
- Montagem e lubrificação.

#### 2.16.2.2 VÁLVULAS

- Beneficiar válvulas (4x) de guilhotina: 1x DN80 + 1x DN50 + 1x DN100 + 1x DN200
- Substituição do cordão, polimento da lâmina, lubrificação do fuso e afinação;

#### 2.16.2.3 CONJUNTO

- Montagem, alinhamento com equipamento laser e ensaio;
- Limpeza e pintura do conjunto;

##### Cores:

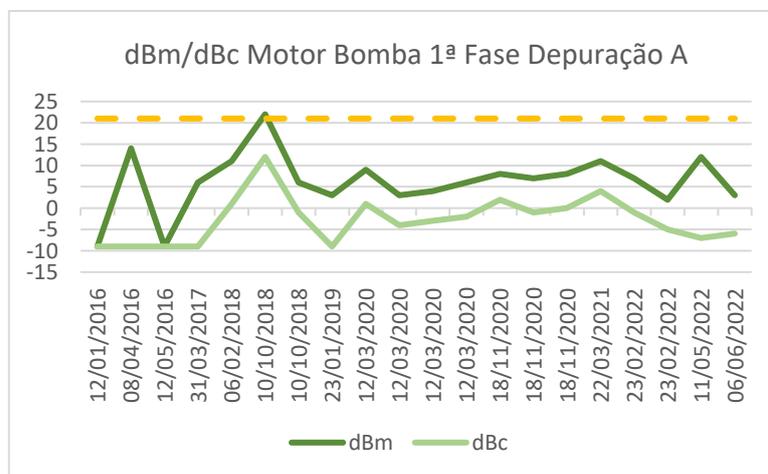
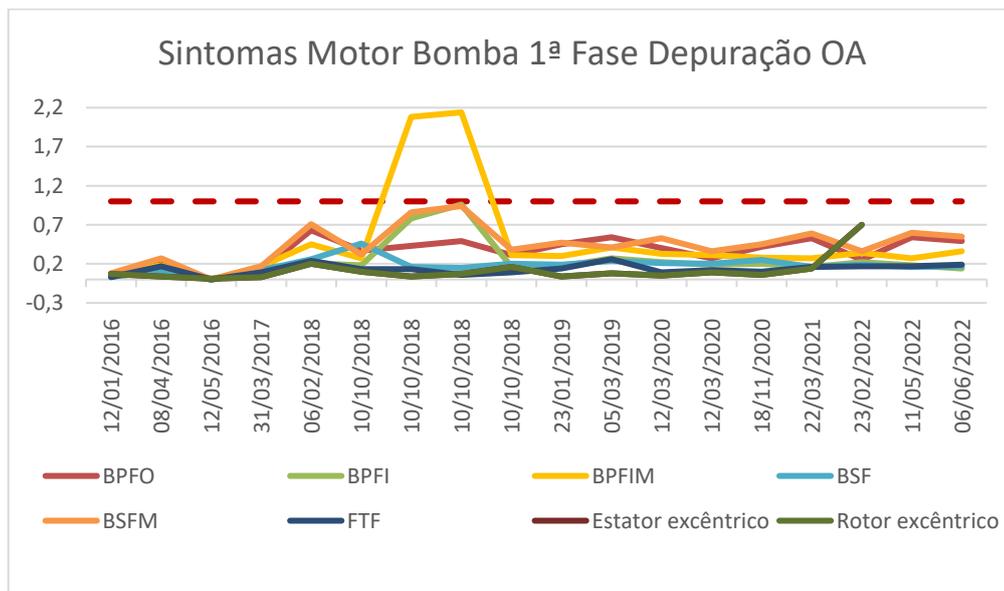
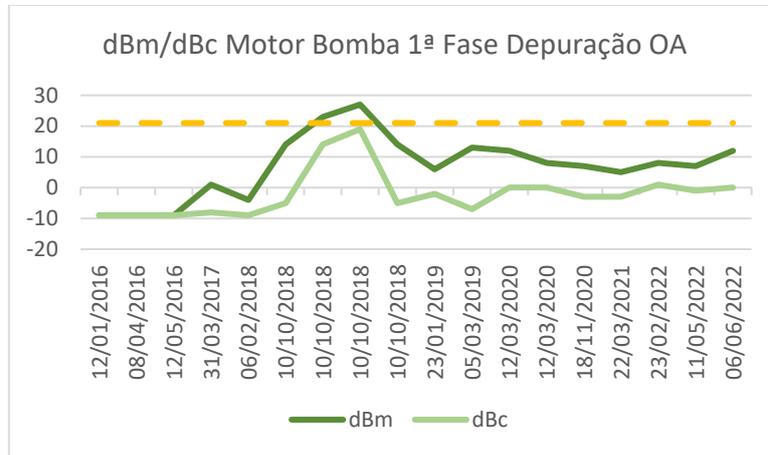
Motor - Azul RAL 5009

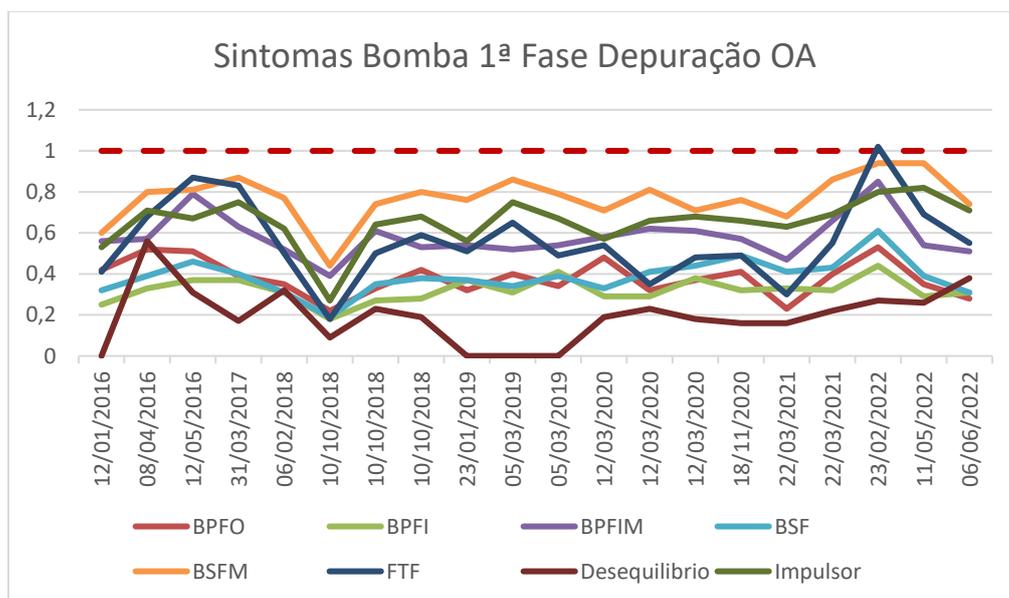
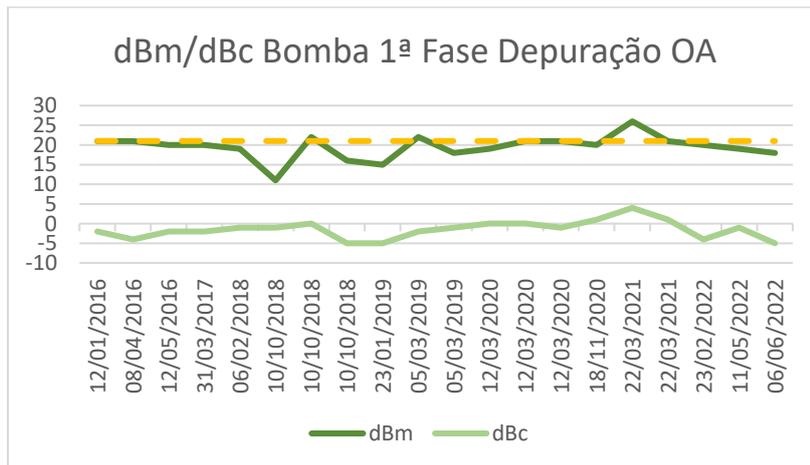
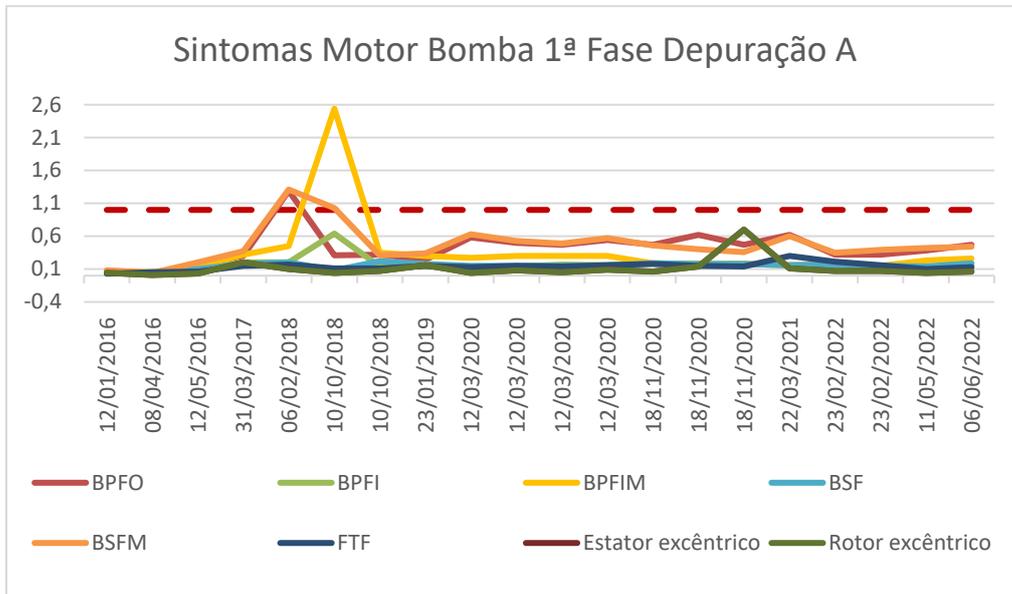
Bomba - Verde RAL 6018

##### Características:

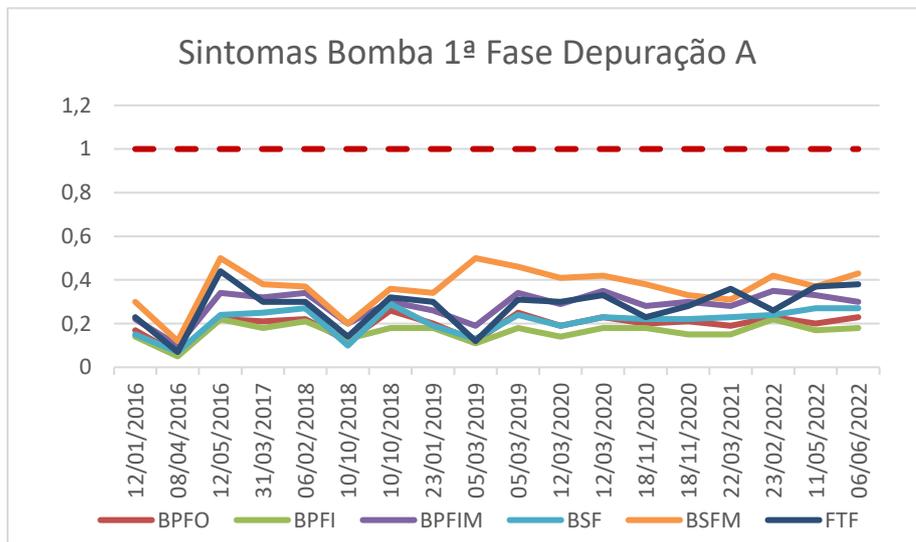
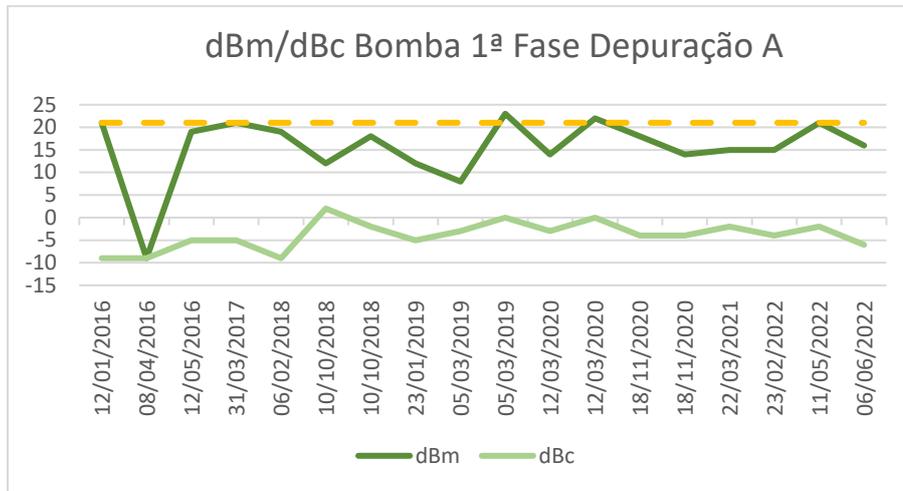
- Bomba: LICAR TW8-80HP4LB3B; 26,1 L/s; 35m;
- Motor: ABB NRI 180212; 18,5kW; 1470rpm

# APÊNDICE A

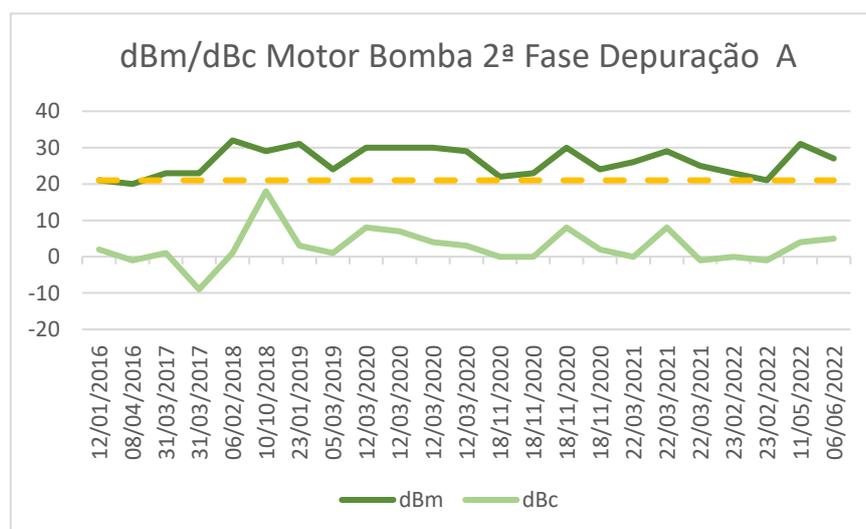
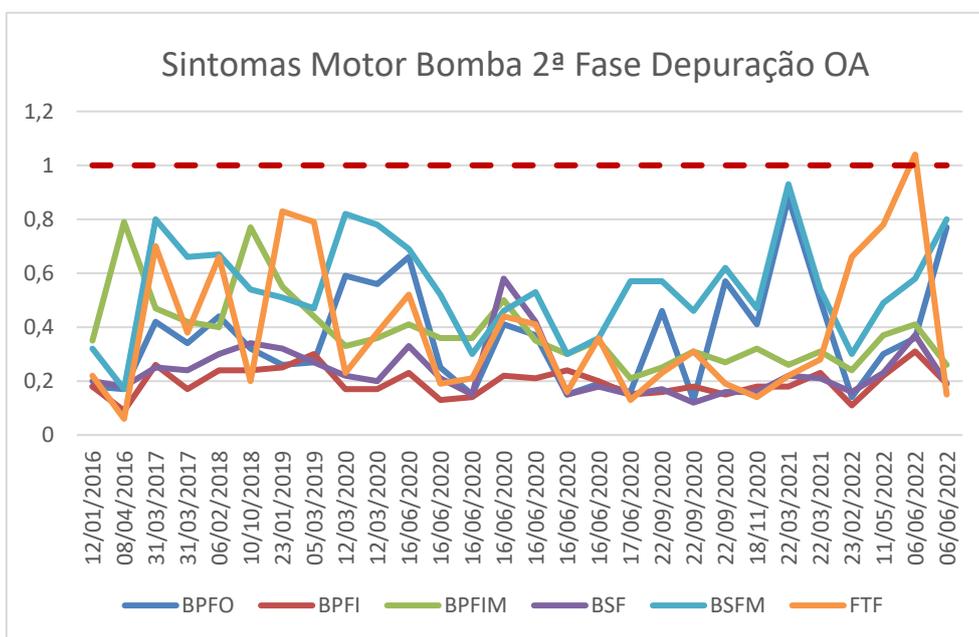
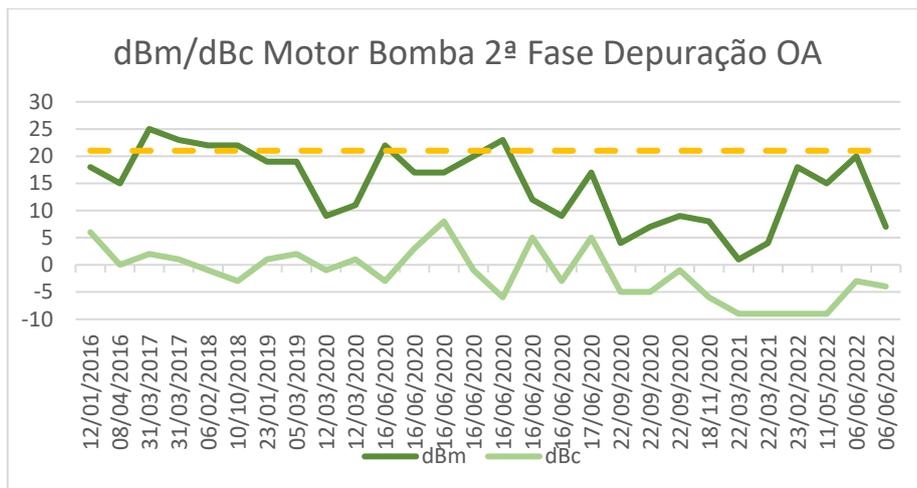


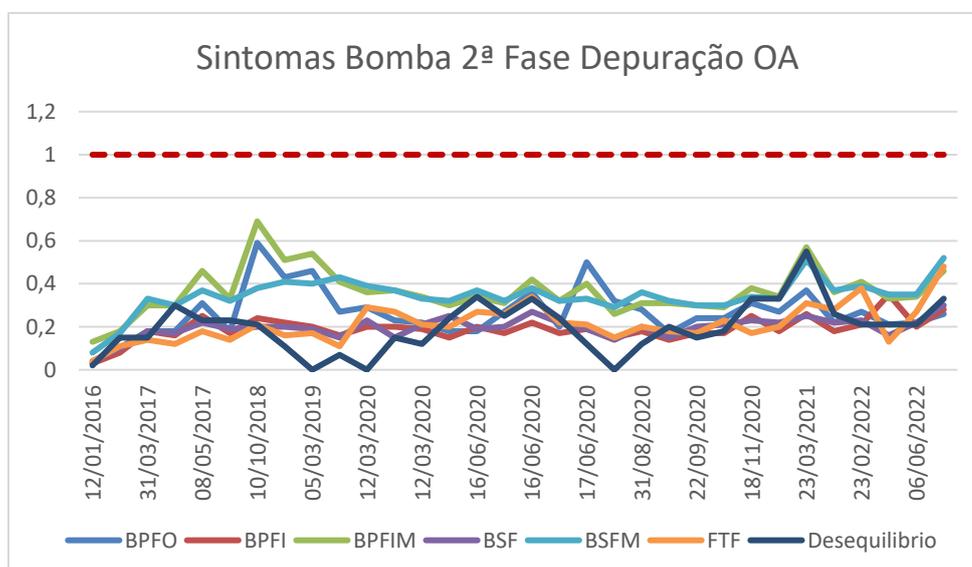
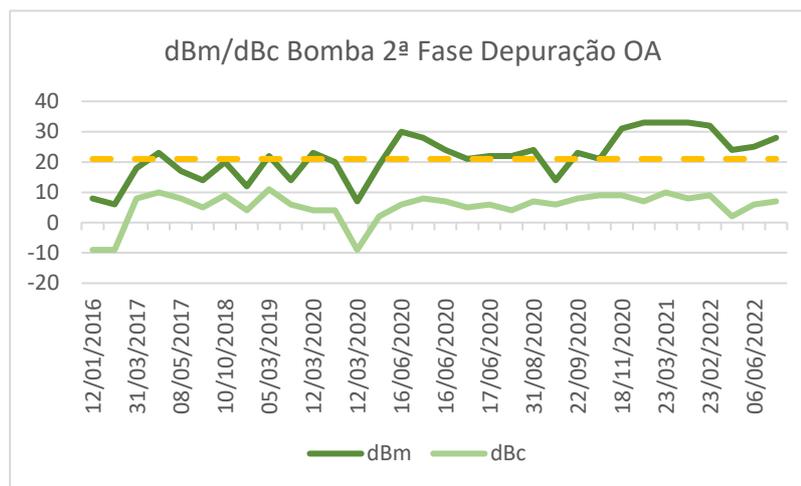
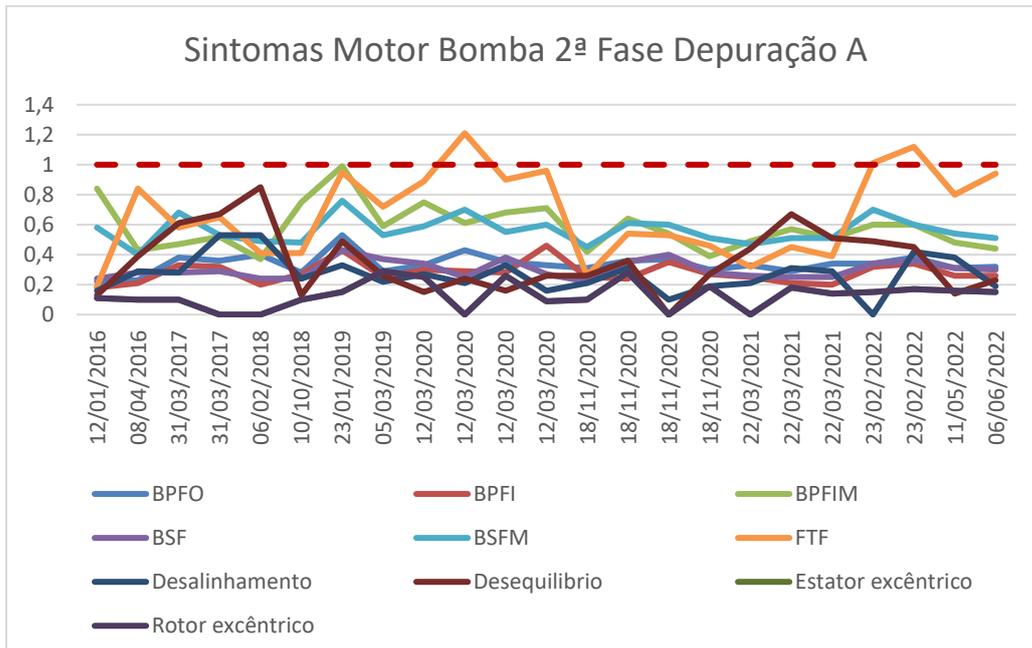


	Deslocamento RMS ( $\mu\text{m}$ )	Velocidade e RMS (mm/s)	Aceleração RMS (m/s <sup>2</sup> )	Velocidade e Pico (mm/s)	Velocidade Pico a Pico (mm/s)	Desequilíbrio (mm/s)	Impulsor	Diferença velocidades
12/01/2016	7,58	2,71	4,15	10,81	20,6	0,02	0,43	9,79
08/04/2016	8,41	2,44	3,93	10,48	19,72	0,04	0,59	9,24
12/05/2016	9,69	2,48	4,58	10,31	19,18	0,02	0,33	8,87
31/03/2017	40,7	2,81	5,31	11,33	22,52	0,03	0,48	11,19
06/02/2018	16,38	2,36	3,98	10,52	19,86	0,05	0,47	9,34
10/10/2018	8,5	0,42	0,72	1,81	3,29	0,01	0,07	1,48
10/10/2018	27,76	2,12	5,47	8,69	16,9	0,01	0,32	8,21
23/01/2019	3,58	1,73	4,76	7,24	14,28	0	0,26	7,04
05/03/2019	8,19	1,67	6,3	7,2	13,69	0,04	0,26	6,49
12/03/2020	3,42	1,33	5,91	4,84	9,62	0,02	0,19	4,78
12/03/2020	11,24	1,32	5,49	5,33	10,11	0,04	0,22	4,78
18/11/2020	4,73	1,47	6,37	6,16	12,14	0,03	0,18	5,98
22/03/2021	12,92	1,44	7,07	5,59	11,1	0,05	0,25	5,51
23/02/2022	16,96	1,66	6,76	6,84	12,29	0,04	0,15	5,45
11/05/2022	7,29	1,67	7,03	6,42	12,35	0,02	0,16	5,93
06/06/2022	15,73	1,74	7,76	8,22	16,39	0,02	0,21	8,17

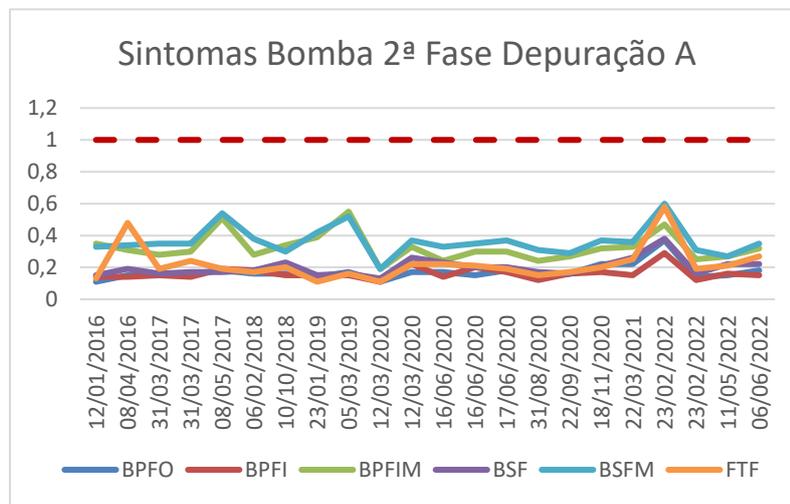
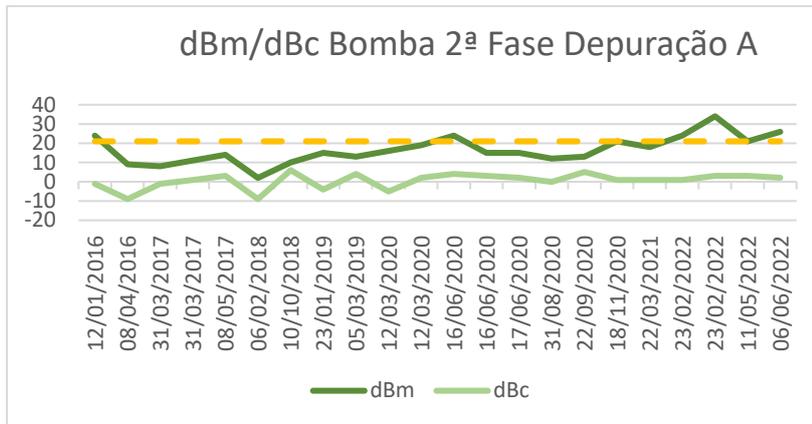


	ISO 2372 Vertical (mm/s)
2/01/2016	1,25
08/04/2016	1,08
12/05/2016	1,41
31/03/2017	1,19
06/02/2018	1,06
10/10/2018	0,46
10/10/2018	1,23
23/01/2019	1,22
05/03/2019	1,38
12/03/2020	1,02
18/11/2020	1,2
22/03/2021	1,1
23/02/2022	1
11/05/2022	1,3
06/06/2022	1,8

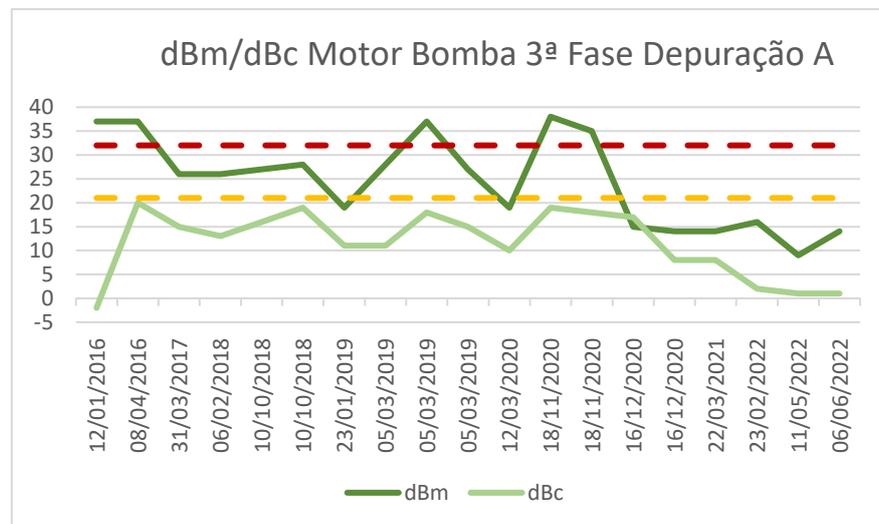
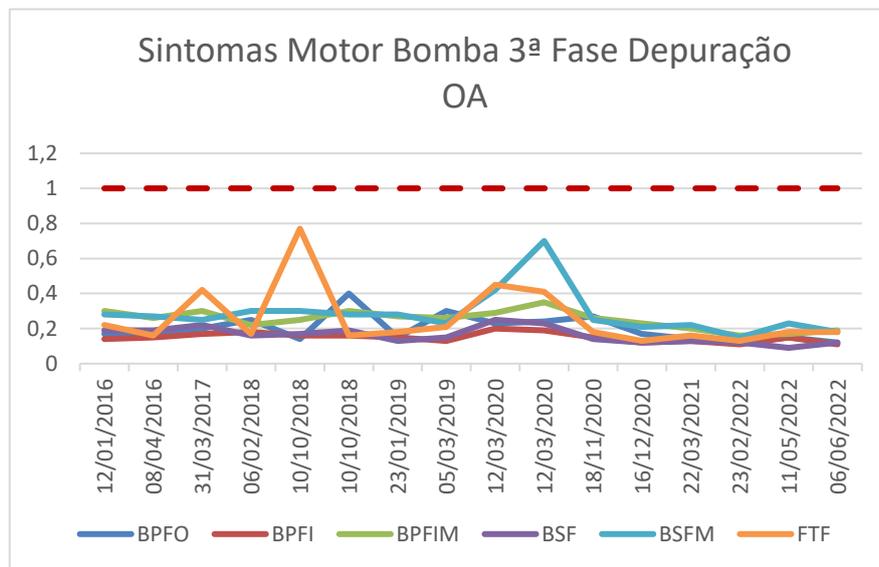
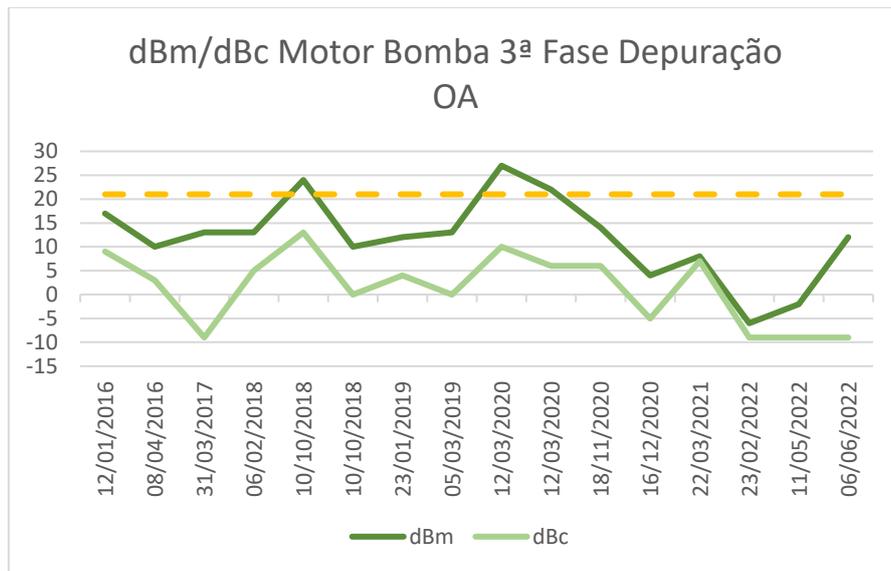


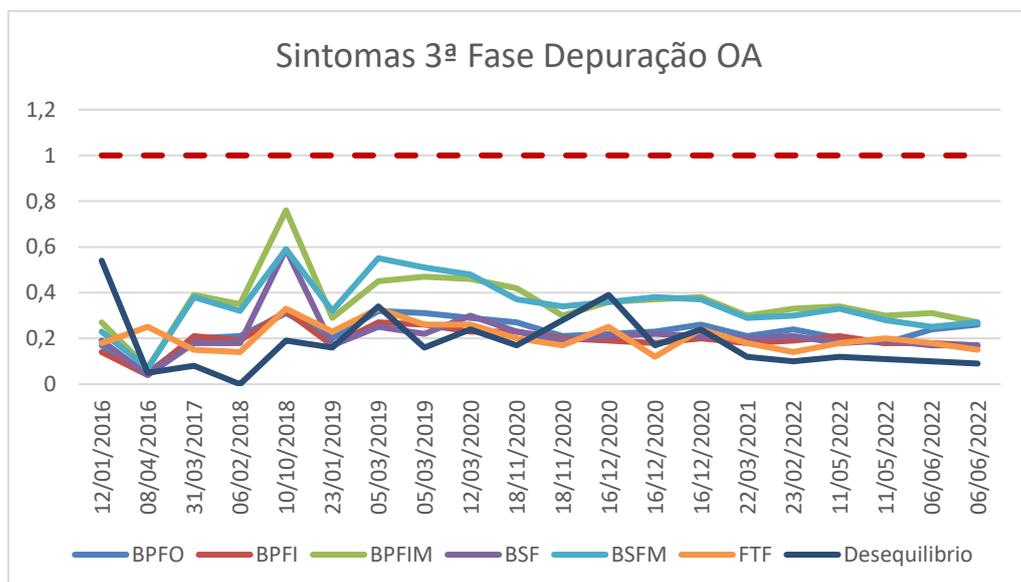
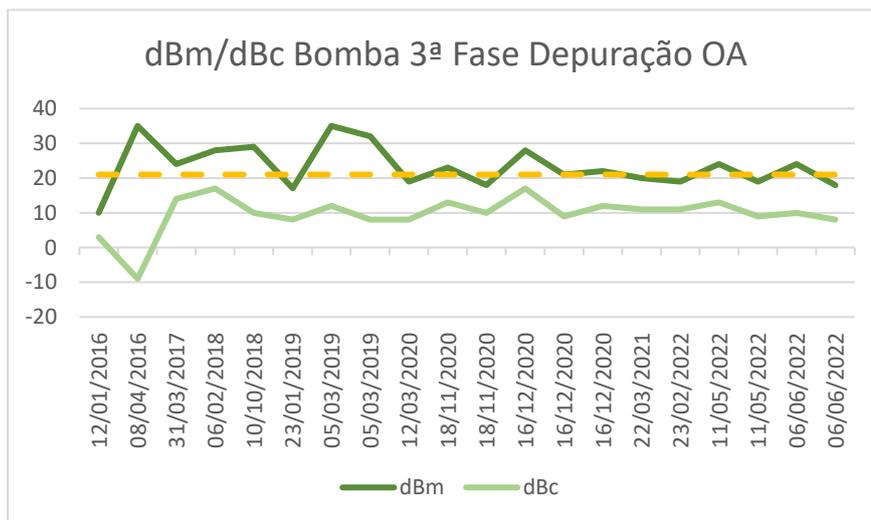
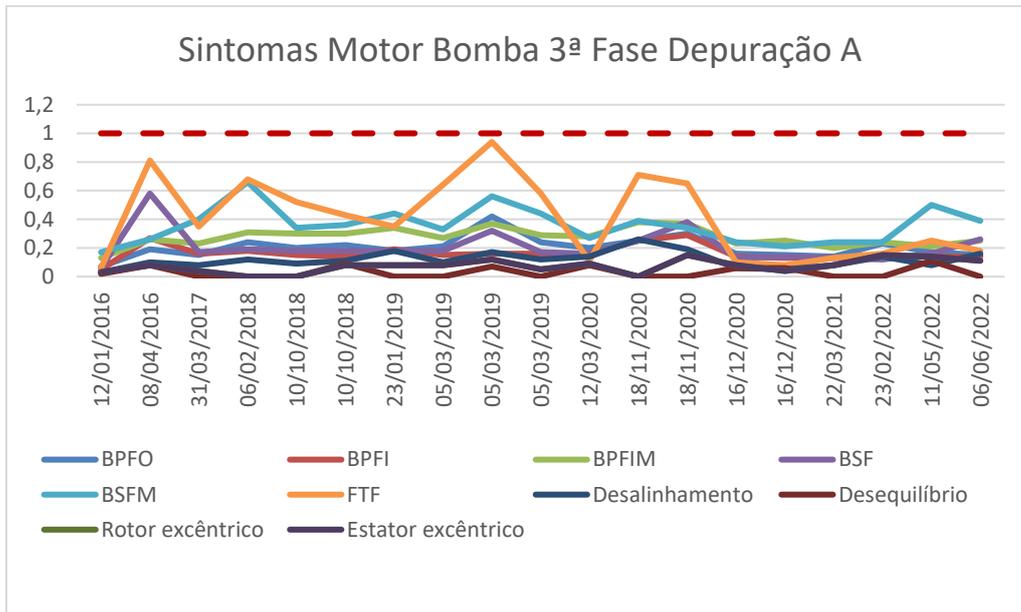


	Displacement RMS (µm)	Velocity RMS (mm/s)	Acceleration RMS (m/sy')	Velocity Peak (mm/s)	Peak to Peak (mm/s)	Desequilíbrio (mm/s)	Diferença velocidades
12/01/2016	29,32	1,25	1,12	3,66	7,25	0,68	3,59
08/04/2016	9,95	1,65	0,92	5,48	19,84	1,2	14,36
31/03/2017	15,94	2,04	1,2	5,68	11,26	1,54	5,58
31/03/2017	23,08	1,3	1,28	6,3	10,98	0,84	4,68
08/05/2017	8,97	1,28	0,96	3,64	6,99	0,9	3,35
06/02/2018	13,52	1,26	2,54	4,35	8,64	0,67	4,29
10/10/2018	12,76	1,28	1,05	4,99	9,65	0,77	4,66
23/01/2019	3,75	1,03	1,26	3,89	6,95	0,44	3,06
05/03/2019	5,51	1,14	1,02	3,84	7	0,48	3,16
12/03/2020	4,78	1,96	2,66	6,89	12,09	0,15	5,2
16/06/2020	13,49	2,41	2,51	10,25	18,11	0,27	7,86
16/06/2020	5,68	2,3	2,32	6,23	11,9	0,25	5,67
17/06/2020	23,33	1,89	2,33	7,81	15,46	0,25	7,65
31/08/2020	7,99	2,44	2,68	7,95	15,15	0,44	7,2
22/09/2020	7,31	1,91	2,25	8,02	13,38	0,43	5,36
18/11/2020	21,43	2,34	2,42	7,6	15,17	0,38	7,57
22/03/2021	5,25	1,74	2,31	6,36	12,25	0,34	5,89
23/02/2022	7,32	2,21	2,61	7,38	14,7	0,09	7,32
11/05/2022	7,95	1,75	2,24	7,83	14,22	0,15	6,39
06/06/2022	8,55	2,42	2,44	9,15	17,02	0,15	7,87

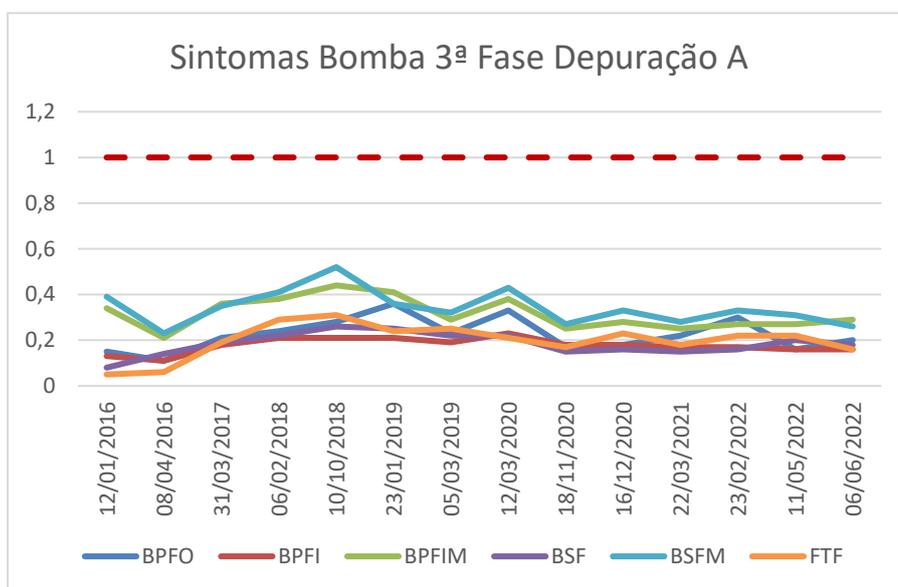
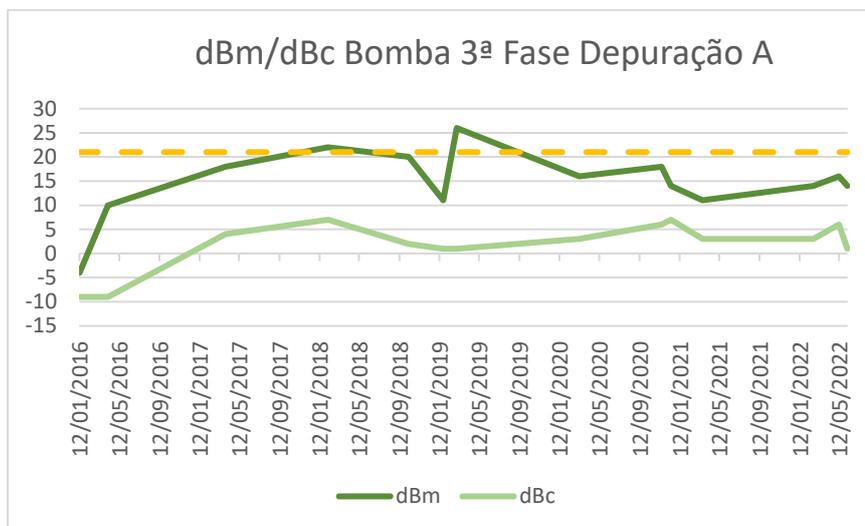


	ISO 2372 Vertical (mm/s)
12/01/2016	1,2
08/04/2016	1,18
31/03/2017	1,56
31/03/2017	1,47
08/05/2017	0,82
06/02/2018	1,23
10/10/2018	0,92
23/01/2019	1,01
05/03/2019	0,93
12/03/2020	2,89
12/03/2020	2,4
16/06/2020	3,1
16/06/2020	2,8
17/06/2020	2,5
31/08/2020	2,4
22/09/2020	2,6
18/11/2020	2,7
23/03/2021	2,6
23/02/2022	2,6
11/05/2022	2,3
06/06/2022	2,7



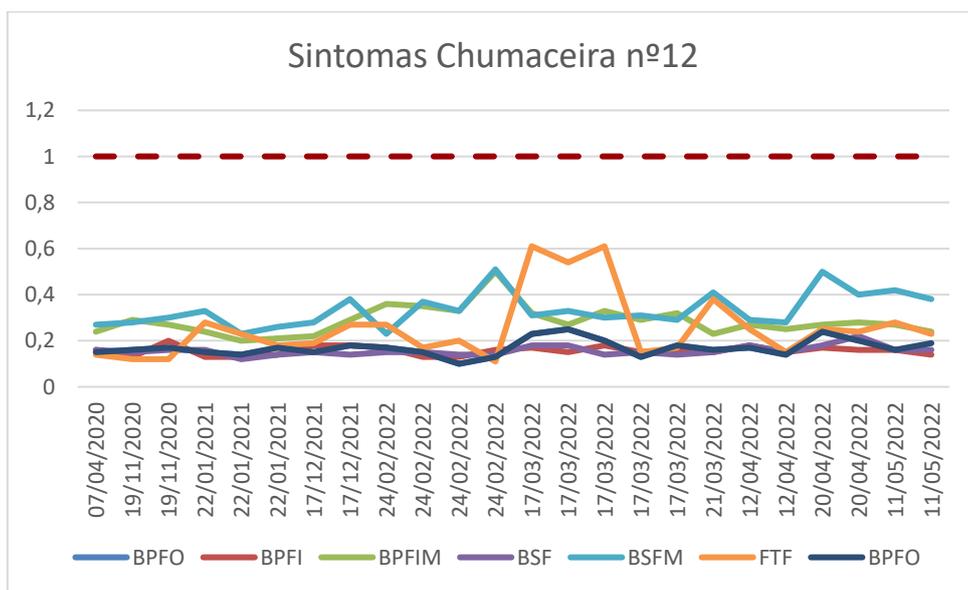
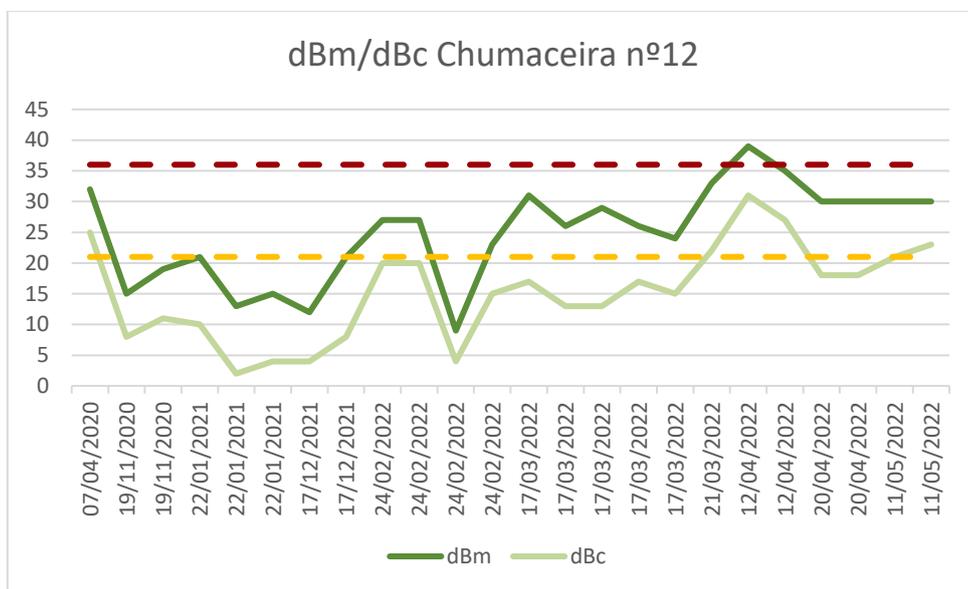


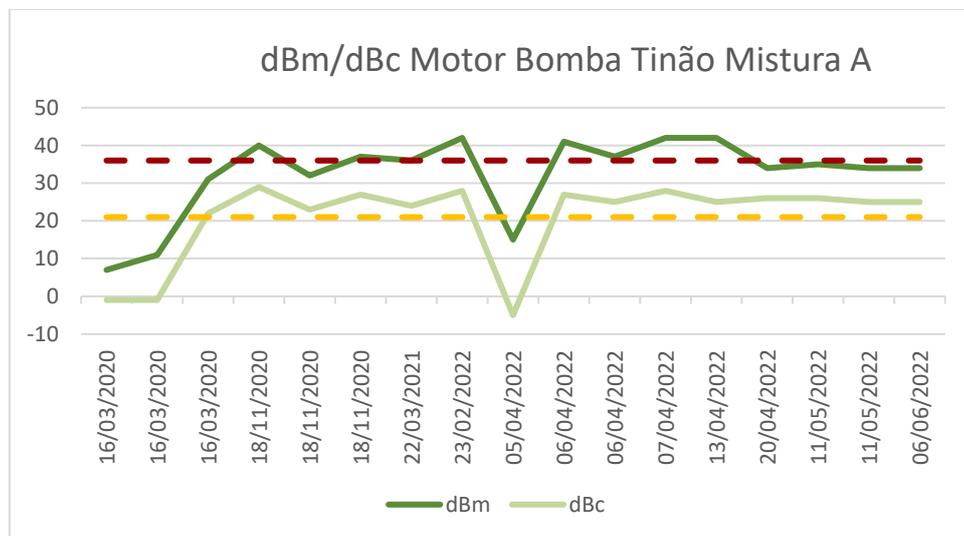
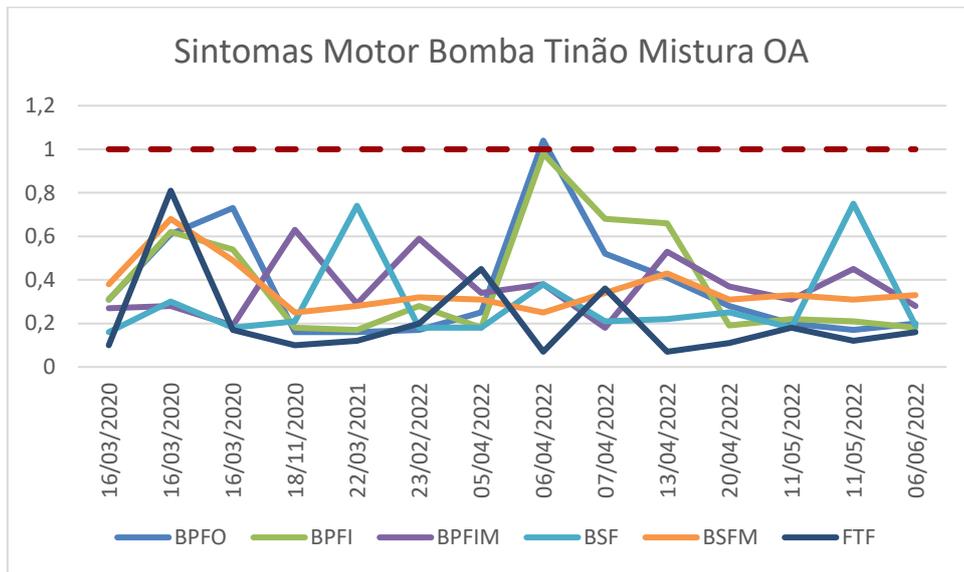
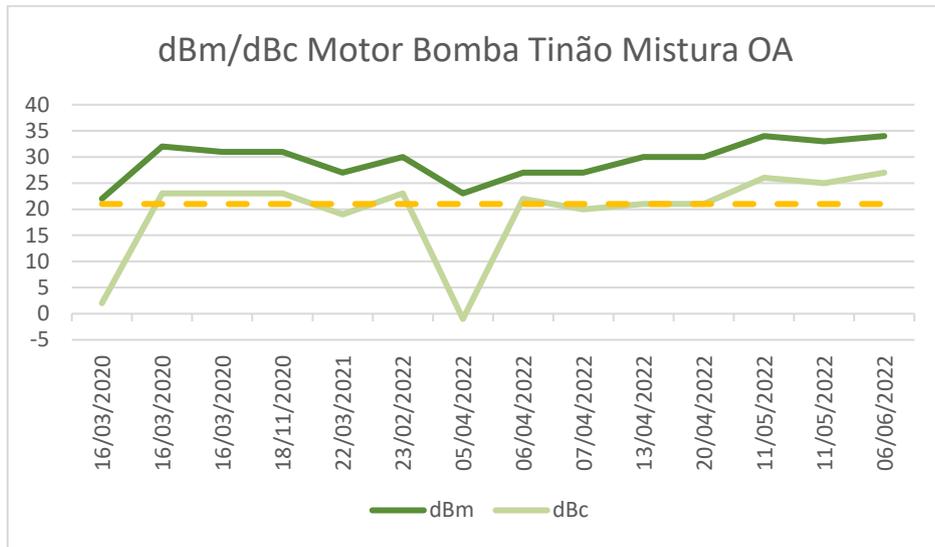
	Displacement RMS ( $\mu\text{m}$ )	RMS (mm/s)	Acceleration RMS ( $\text{m/s}^2$ )	Peak (mm/s)	Peak to Peak	Desequilíbrio (mm/s)	Diferença velocidades
12/01/2016	4,01	0,41	1,11	1,6	3,16	0,03	1,56
08/04/2016	3,67	0,74	1,57	2,91	5,38	0,09	2,47
31/03/2017	27,38	0,79	0,91	2,96	5,6	0,36	2,64
06/02/2018	3,16	0,52	2,06	3,13	5,37	0,2	2,24
10/10/2018	16,84	0,89	0,96	4,13	7,83	0,39	3,7
23/01/2019	10,13	0,87	2,27	3,69	6,9	0,28	3,21
05/03/2019	6,82	0,83	1,84	3,32	6,02	0,21	2,7
12/03/2020	5,12	0,5	0,95	1,98	3,86	0,33	1,88
18/11/2020	3,75	0,44	0,84	1,64	3,24	0,31	1,6
16/12/2020	36,49	0,83	0,9	4,83	9,34	0,28	4,51
22/03/2021	3,03	0,39	0,92	1,61	3,17	0,13	1,56
23/02/2022	14,1	0,52	1,26	2,41	4,53	0,2	2,12
11/05/2022	4,84	0,49	1,17	1,66	3,33	0,31	1,67
06/06/2022	6,24	0,49	1,17	1,92	3,71	0,18	1,79

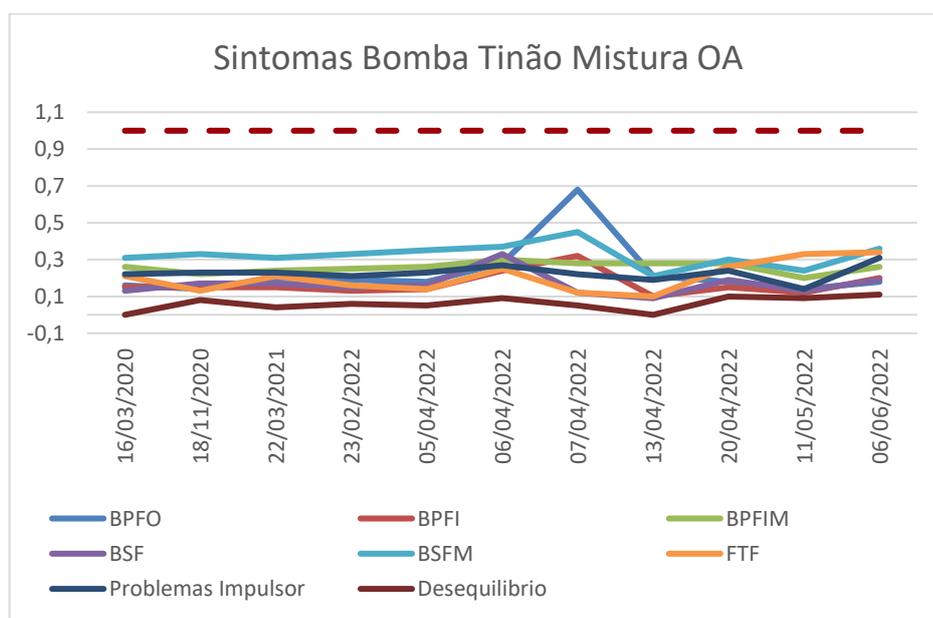
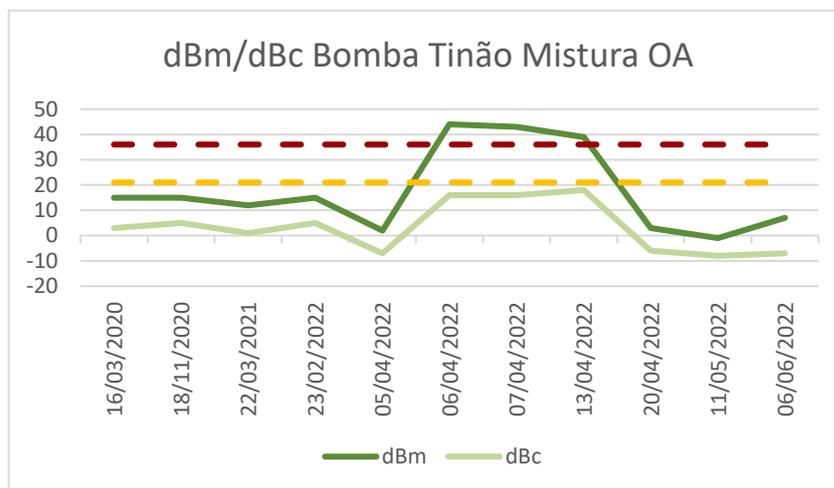
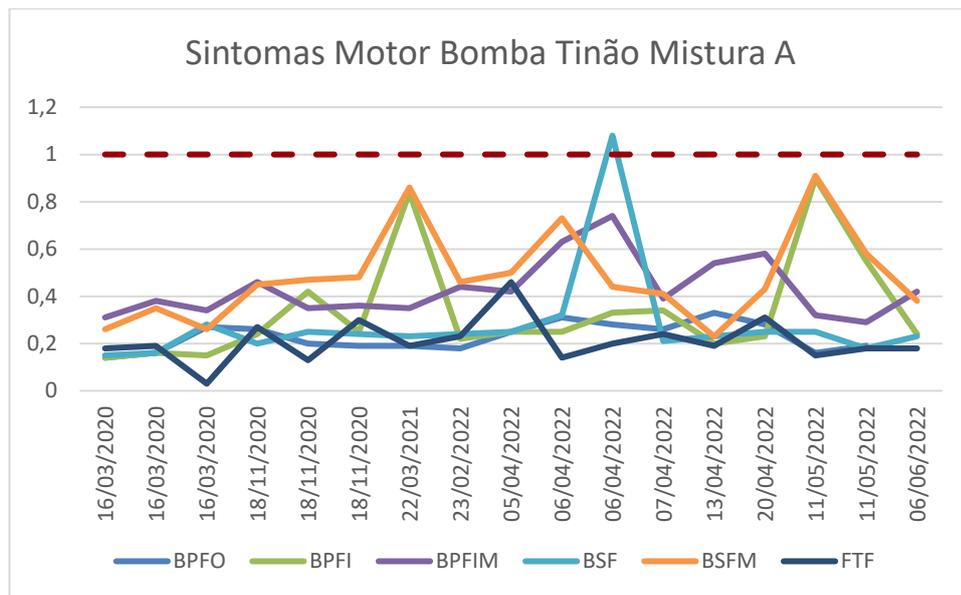


	ISO 2372 Vertical (mm/s)
12/01/2016	0,57
08/04/2016	0,57
31/03/2017	0,73
06/02/2018	0,61
10/10/2018	0,48
23/01/2019	0,96
05/03/2019	0,95
12/03/2020	0,74
18/11/2020	0,9
16/12/2020	0,8
16/12/2020	0,6
22/03/2021	0,7
11/05/2022	0,9
06/06/2022	0,9

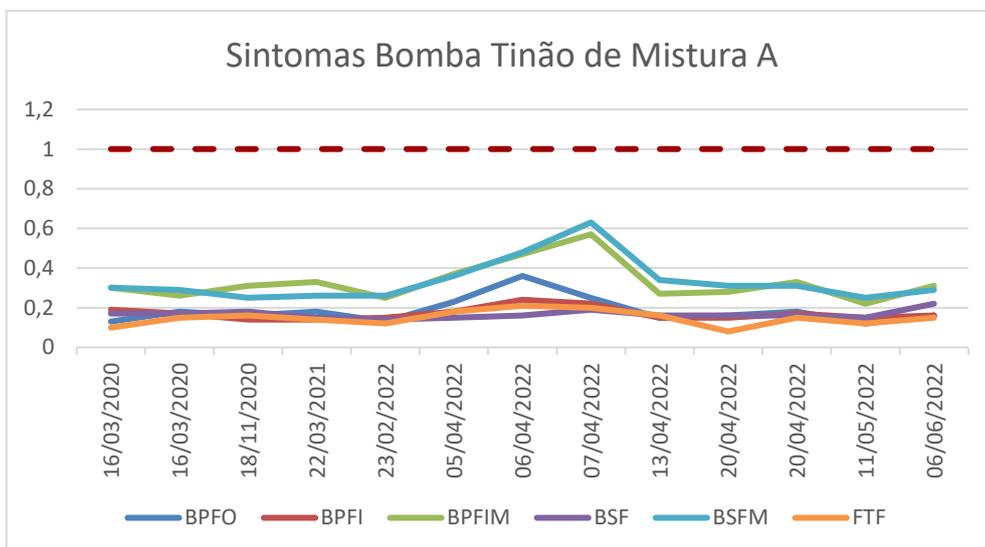
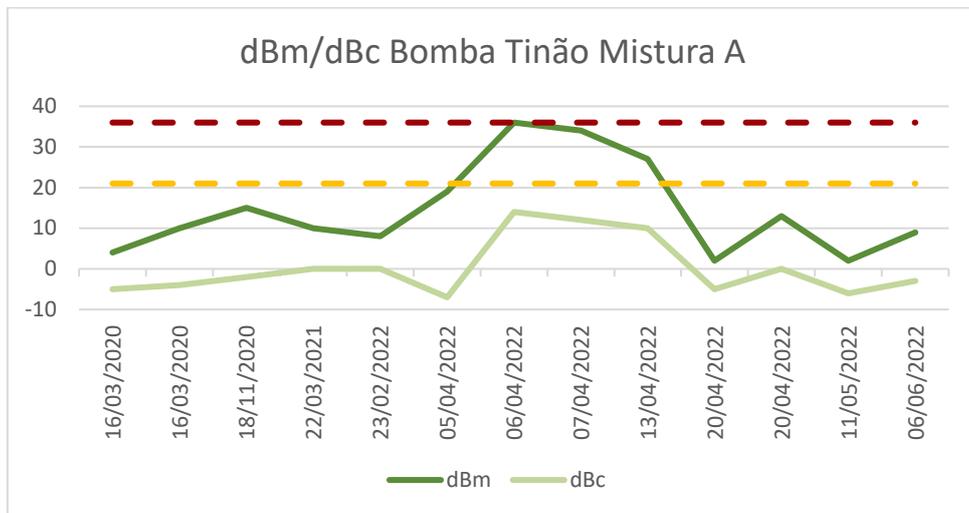
## APÊNDICE B







	Displacement RMS ( $\mu\text{m}$ )	Velocity RMS (mm/s)	Acceleration RMS ( $\text{m/s}^2$ )	Velocity Peak (mm/s)	Velocity Peak to Peak (mm/s)	Desequilíbrio (mm/s)	Impulsor	Diferença velocidades
16/03/2020	9,9	0,61	0,96	2,23	4,32	0	0,09	2,09
18/11/2020	2,96	1,57	2,52	6,24	12,43	0,01	0,39	6,19
22/03/2021	13,88	1,92	3,17	8,21	14,57	0,01	0,39	6,36
23/02/2022	3,52	1	1,8	3,46	6,52	0,01	0,09	3,06
06/04/2022	15,47	5,13	45,83	23,53	41,81	0,03	0,42	18,28
07/04/2022	10,99	4,55	36,54	21,8	40,32	0	0,28	18,52
13/04/2022	35,28	4,79	41,14	21,28	39,71	0,34	0	18,43
20/04/2022	5,91	0,78	1,07	2,54	4,7	0,08	0	2,16
11/05/2022	2,8	0,57	0,68	2,52	3,96	0	0,07	1,44
06/06/2022	2023,36	27,48	1,37	83,26	149,99	0,46	0,03	66,73



	ISO 2372 Vertical (mm/s)
16/03/2020	1
18/11/2020	2,9
18/11/2020	2,7
22/03/2021	2,9
23/02/2022	0,7
05/04/2022	2,7
06/04/2022	4,2
07/04/2022	3,7
13/04/2022	5,1
20/04/2022	0,5
11/05/2022	0,9
06/06/2022	0,8