



Gestão da Manutenção: Melhoria em um Processo de Revestimento de Superfícies Metálicas por Oxidação a Negro

Mestrado em Engenharia Mecânica-Produção Industrial

Gustavo Pasqualini Barros da Silva

Leiria, maio de 2022



Gestão da Manutenção: Melhoria em um Processo de Revestimento de Superfícies Metálicas por Oxidação a Negro

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Gustavo Pasqualini Barros da Silva

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor António Mário Henriques Pereira, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, maio de 2022

Originalidade e Direitos do Autor

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial, no ano letivo 2021/2022, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Originalidade e Direitos do Autor

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu filho Vinícius, que ainda está na barriga da mamãe. Estamos muito ansiosos pela sua chegada.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a mim mesmo por todo o esforço e dedicação que tive ao longo deste mestrado e intercâmbio. Estar em outro país, em outra cultura, ter que trabalhar durante o dia para pagar as contas e estudar a noite em busca de um futuro melhor, não é fácil. Mas graças a Deus tive a força necessária para enfrentar todos esses obstáculos com muito sucesso.

Agradeço à minha esposa Carol, que embarcou comigo neste sonho de realizar um mestrado no exterior. Por ter sido minha base, meu ombro, meu apoio, fundamental para ter conseguido chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais, Claudio e Marinete, por absolutamente tudo. Por terem me criado tão bem, com tanto amor e por terem sido e serem exemplos tão bons pra mim.

Agradeço à minha vó Arlete, pelo carinho imenso que me foi dado ao longo de toda a minha vida. Esta vitória é nossa. Sua bênção.

Agradeço à minha vó Helena, que infelizmente nos deixou enquanto eu ainda cursava o 1º semestre. A senhora tem a minha admiração e amor eterno.

Agradeço ao meu orientador Professor António Mário pelo apoio dado a elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Instituto Politécnico de Leiria, uma instituição incrível, com profissionais extremamente competentes. O modo como vocês acolhem alunos intercambistas pode e deve ser parabenizado.

E por fim, agradeço a Portugal por toda a experiência que me foi proporcionada durante estes 2 anos e meio. Visitei lugares lindos, conheci pessoas fantásticas, fiz muitos amigos que sei que vou levar pra vida toda. Sem falar na culinária... vossa culinária é um espetáculo!

Resumo

A manutenção industrial está a sofrer mudanças em relação a sua importância dentro das empresas e vem tornando-se um elemento estratégico fundamental para o aumento da produtividade e eficiência dos processos.

Este trabalho tem como objetivo principal a aplicação dos conceitos da gestão da manutenção e análises do risco na realização da melhoria em um processo de revestimento de superfícies metálicas por oxidação a negro. Os conceitos e definições serão apresentados, assim como as ferramentas, técnicas e formas de aplicação no âmbito industrial. Motivada à aplicação em caso de estudo, também se mostra presente uma breve análise de modelos estatísticos de validação de dados e tomada de decisão.

Em colaboração com a empresa Cumsa Tech, será apresentado o cenário atual do processo industrial denominado Oxidação a Negro. Esta técnica de revestimento de superfícies metálicas, amplamente utilizada na indústria metalomecânica, tem como objetivo a proteção de componentes metálicos contra fatores que as degradam, principalmente a corrosão. A partir de um levantamento de dados, aplicação de conceitos estatísticos e análise de resultados obtidos, apresentou-se uma nova estratégia de manutenção para este processo.

Como conclusão obteve-se que, de facto, uma estratégia de manutenção planeada pode ter um impacto direto na eficiência de um processo industrial. Com as propostas apresentadas, espera-se diminuir a probabilidade de avaria dos equipamentos e dos acidentes de trabalho, associados às atividades planeadas.

Palavras-chave: Manutenção, Gestão da Manutenção, Análise do Risco, Oxidação a Negro

Abstract

Industrial maintenance is undergoing changes in terms of its importance within companies and has become a key strategic element for increasing the productivity and efficiency of processes.

This work has as main objective the application of the concepts of maintenance management and risk analysis in the realization of the improvement in a process of coating metallic surfaces by oxidation to black. The concepts and definitions will be presented, as well as the tools, techniques and forms of application in the industrial scope. Motivated by the application in the case study, there is also a brief analysis of statistical models for data validation and decision making.

In collaboration with the company Cumsa Tech, the current scenario of the industrial process called Black Oxide will be presented. This technique of coating metallic surfaces, widely used in the metalworking industry, aims to protect metallic components against factors that degrade them, mainly corrosion. From a data collection, application of statistical concepts and analysis of results obtained, a new maintenance strategy for this process was presented.

As a conclusion, it was found that, in fact, a planned maintenance strategy can have a direct impact on the efficiency of an industrial process. With the proposals presented, it is expected to reduce the probability of equipment breakdown and work accidents associated with the planned activities.

Key Words: Maintenance, Maintenance Management, Risk Analysis, Black Oxide

Índice

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introdução..... | 1 |
| 1.1 | Enquadramento do Tema..... | 1 |
| 1.2 | Objetivos e Motivações | 1 |
| 1.3 | Metodologia..... | 2 |
| 1.4 | Estrutura da Dissertação..... | 2 |
| 2 | Revisão Bibliográfica | 4 |
| 2.1 | Gestão da Manutenção | 4 |
| 2.1.1 | Evolução da Manutenção | 5 |
| 2.1.2 | Tipos de Manutenção | 8 |
| 2.1.3 | Indicadores de Desempenho..... | 11 |
| 2.2 | Manutenção Produtiva Total – TPM..... | 12 |
| 2.3 | Manutenção Centrada na Fiabilidade – RCM | 17 |
| 2.3.1 | Falhas..... | 20 |
| 2.3.2 | Distribuição de Weibull | 22 |
| 2.4 | Análise do Risco | 24 |
| 2.4.1 | Métodos de Análise do Risco | 27 |
| 2.4.2 | Principais Riscos e Recomendações na Indústria Metalomecânica . | 34 |
| 2.5 | Ferramentas de Apoio à Tomada de Decisão e Validação Estatística.... | 35 |
| 3 | Estudo do Processo de Revestimento por Oxidação a Negro..... | 38 |
| 3.1 | Metodologia do Estudo..... | 38 |
| 3.2 | Enquadramento do Processo de Oxidação a Negro | 39 |
| 3.3 | Processo de Oxidação a Negro - Situação Atual | 44 |
| 3.4 | Definição da Amostra de Dados Recolhida..... | 47 |
| 4 | Análise e Discussão dos Resultados..... | 49 |
| 4.1 | Aplicações de Modelos de Fiabilidade | 49 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.2 | Estratégias de Manutenção e Propostas de Melhorias | 61 |
| 4.3 | Avaliação do Risco nas Atividades de Manutenção | 67 |
| 5 | CONCLUSÃO | 76 |
| 5.1 | Conclusões dos Trabalhos | 76 |
| 5.2 | Propostas para Trabalhos Futuros | 77 |
| | Bibliografia..... | 79 |
| | Anexos | 84 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Função produção versus manutenção (Waeyenbergh, 2005)..... | 4 |
| Figura 2: Evolução cronológica das Técnicas de Manutenção. (Adaptado de Moubray, 1997). | 5 |
| Figura 3: Cronologia do Desenvolvimento Industrial. (Waeyenbergh, 2005). | 7 |
| Figura 4: Organização da Manutenção de acordo com a Norma NP EN 13306:2007. | 8 |
| Figura 5: Iceberg de falhas invisíveis e falha visível (Yamaguchi, 2005) | 14 |
| Figura 6: Os 8 Pilares do TPM (Modelo de Nakajima) [(Coelho, 2008)]..... | 15 |
| Figura 7: Aplicação de cada modelo de manutenção (Pride, 2010). | 18 |
| Figura 8: Efeito dos custos na periodicidade de manutenção preventiva (Corrêa & Dias, 2014). | 19 |
| Figura 9: Gráfico lucro versus disponibilidade (Murty & Naikan, 1995). | 19 |
| Figura 10: Curva da Banheira: comportamento de falhas de um equipamento. (Moraes, 2004). | 21 |
| □ Figura 11: Comportamento da curva de riscos com as medidas mitigadoras. (Melo et al., 2002) | 26 |
| Figura 12: Diagrama de Avaliação dos Riscos. (Fernandez, 2016). | 30 |
| Figura 13: Cilindros hidráulicos após sofrerem o tratamento de Oxidação a Negro. | 40 |
| Figura 14: Fluxograma do Processo Oxidação a Negro..... | 41 |
| Figura 15: Fluxograma do Processo de Produção da Cumsa Tech | 44 |
| Figura 16: Etapa dos tanques da Linha de Oxidação a Negro. (Empresa Cumsa Tech, 2018). | 45 |

| | |
|---|----|
| Figura 17: Layout dos componentes no ambiente do processo. | 47 |
| Figura 18: Análise dos TBF 2018 em escala normal e logarítmica. | 50 |
| Figura 19: Análise dos TBF 2019 em escala normal e logarítmica. | 51 |
| Figura 20: Análise dos TBF 2020 em escala normal e logarítmica. | 52 |
| Figura 21: Análise dos TTR 2018 em escala normal e logarítmica. | 53 |
| Figura 22: Análise dos TTR 2019 em escala normal e logarítmica. | 54 |
| Figura 23: Análise dos TTR 2020 em escala normal e logarítmica. | 55 |
| Figura 24: LOG TBF dos três anos estudados. | 57 |
| Figura 25: LOG TTR dos três anos estudados. | 58 |
| Figura 26: Análise Comparativa das Distribuições de Weibull e Exponencial através do Teste Anderson-Darling. | 59 |
| Figura 27: Previsão dos parâmetros de Weibull através do Método de Verossimilhança Máxima. | 60 |
| Figura 28: Caracterização dos dados pela Curva da Banheira. | 61 |
| Figura 29: Diagrama de Pareto dos índices do risco dos modos de falha do processo de Oxidação a Negro. | 64 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Matriz de Detetabilidade de Falhas. (Siqueira ,2005)..... | 22 |
| Tabela 2: Escala dos itens Ocorrência e Gravidade do Efeito | 28 |
| Tabela 3: Escala do item Detecção da Falha..... | 28 |
| Tabela 4: Significado dos vários níveis de deficiência. | 30 |
| Tabela 5: Significado dos vários níveis de exposição. | 31 |
| Tabela 6: Relação entre o Nível de Deficiência e o Nível de Exposição. | 31 |
| Tabela 7: Significado dos Níveis de Probabilidade. | 32 |
| Tabela 8: Significado dos Níveis de Consequências..... | 32 |
| Tabela 9: Conjugação entre os Níveis de Probabilidade e de Consequências. ... | 33 |
| Tabela 10: Significado dos Níveis de Intervenção..... | 33 |
| Tabela 11: Exemplo de Tabela de Registo. | 33 |
| Tabela 12: Comparação entre Métodos usados para Avaliação de Riscos Laborais. | 34 |
| Tabela 13: Principais riscos em atividades de tratamentos superficiais. (Ricardo J., 2016) | 43 |
| Tabela 14: Extrato de dados de manutenção recolhidos entre os anos de 2018 a 2020. | 48 |
| Tabela 15 - Resultados do Modelo de ANOVA para LOG TBF | 56 |
| Tabela 16 - Resultados do Modelo de ANOVA para LOG TTR..... | 57 |
| Tabela 17 - Análise FMEA para o processo de Oxidação a Negro estudado. | 62 |
| Tabela 18 - Hierarquização dos impactos das falhas e seus tipos manutenção adequadas..... | 63 |
| Tabela 19: Análise do risco da atividade 1. | 69 |

| | |
|--|----|
| Tabela 20: Análise do risco da atividade 2..... | 70 |
| Tabela 21: Análise do risco da atividade 3..... | 70 |
| Tabela 22: Análise do risco da atividade 4..... | 71 |
| Tabela 23: Análise do risco da atividade 5..... | 72 |
| Tabela 24: Análise do risco da atividade 6..... | 72 |
| Tabela 25: Análise do risco da atividade 7..... | 73 |
| Tabela 26: Análise do risco da atividade 8..... | 74 |
| Tabela 27: Análise do risco da atividade 9..... | 74 |
| Tabela 28: Análise do risco da atividade 10..... | 75 |

Lista de Siglas

| | |
|-------|--|
| CNC | Controlo Numérico Computadorizado |
| CTMF | Curva do Tempo Médio para Falha |
| FMEA | Análise Modal de Falhas e Efeitos / <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> |
| INSHT | Instituto Nacional de Seguridade e Higiene no Trabalho |
| JIPM | <i>Japan Institute of Plant Maintenance</i> |
| JIT | <i>Just-in-Time</i> |
| KPI | Indicadores Chave de Desempenho |
| MARS | Método de Avaliação de Risco Simplificado |
| MC | Manutenção Preventiva Condicionada |
| MCE | Manutenção Corretiva |
| MPS | Manutenção Preventiva Sistemática |
| MTBF | Tempo Médio entre Avarias / <i>Mean Time Between Failure</i> |
| MTTR | Tempo Médio de Reparação / <i>Mean Time To Repair</i> |
| MWT | Tempo Médio de Espera / <i>Mean Waiting Time</i> |
| NC | Nível de Consequências |
| ND | Níveis de Deficiência |
| NE | Nível de Exposição |
| NP | Nível de Probabilidade |
| OEE | Eficiência Global do Equipamento / <i>Overall Equipment Effectivness</i> |
| ROI | Retorno sobre o Investimento |
| RCM | Manutenção Centrada na Fiabilidade / <i>Reliability Centered Maintenance</i> |
| TBF | Tempo Entre as Falhas / <i>Time Between Failure</i> |
| TPM | Manutenção Produtiva Total / <i>Total Productive Maintenance</i> |
| TTR | Tempo de Reparação / <i>Time to Repair</i> |

1 Introdução

A manutenção industrial dada a sua importância no contexto atual das organizações é uma área onde se atua de forma a manter o bom funcionamento e a melhorar o desempenho global. Assim a gestão da manutenção é um elemento estratégico fundamental para o aumento da produtividade e eficiência dos processos nas organizações.

1.1 Enquadramento do Tema

Ao longo das últimas décadas, a manutenção industrial está a sofrer mudanças em relação a sua importância dentro das empresas. Está a deixar de ter relevância somente quando há defeitos ou necessidades de reparações em componentes dos sistemas e vem tornando-se um elemento estratégico fundamental para o aumento da produtividade e eficiência dos processos.

De acordo com Cavalcante e Almeida (2005), com o competitivo crescimento do mercado, demandas por produtos de alta qualidade, rápida entrega e preços competitivos têm conduzido a uma nova configuração dos sistemas de manufatura, combinando automação, integração e flexibilidade, a qual impacta diretamente na necessidade de plantas com alto nível de eficiência. Por outro lado, a eficiência de alguns sistemas de trabalho não depende apenas de propriedades de projeto, mas também da qualidade de operação, manutenção e reparação. Assim, o gerenciamento de manutenção representa um elemento competitivo para as companhias, não impactando apenas no aspeto do negócio de cada produto e sua rentabilidade, mas também na qualidade dos produtos e serviços.

Esta exigência tem deixado cada vez mais em evidência, aspetos como a fiabilidade, manutenibilidade e segurança. Assim, a aplicação de conceitos e técnicas de engenharia de manutenção contidos em Manutenção centrada na Fiabilidade / *Reliability Centered Maintenance* (RCM) e Manutenção Produtiva Total / *Total Productive Maintenance* (TPM), aliados a outras áreas de conhecimento são essenciais ao sistema produtivo obtendo riscos e custos mais baixos e desempenhos mais elevados.

1.2 Objetivos e Motivações

Este trabalho tem como objetivo principal a aplicação dos conceitos da gestão da manutenção e análises do risco na realização da melhoria em um processo de

revestimento de superfícies metálicas por oxidação a negro. Os conceitos e definições serão apresentados, assim como as ferramentas, técnicas e formas de aplicação no âmbito industrial. Motivada à aplicação em caso de estudo, também se mostra presente uma breve análise de modelos estatísticos de validação de dados e tomada de decisão.

Como objetivos específicos foram definidos os seguintes:

- Apresentar os impactos da evolução da gestão da manutenção e suas estratégias em organizações, demonstrando seus diferentes tipos e indicadores;
- Abordar e caracterizar conceitos, técnicas e ferramentas contidos em TPM e RCM;
- Estudo sobre técnicas de Análise de Risco em atividades industriais;
- Apresentação de caso de estudo em parceria com uma empresa do setor metalomecânico, aplicando técnicas multidisciplinares, aprendidas ao longo do curso e abordadas em revisão bibliográfica, a fim de obter resultados satisfatórios;
- Realizar análise do ciclo de vida do processo através de métodos estatísticos com base no histórico de dados de manutenção, identificando a situação atual;
- Através da ferramenta Análise Modal de Falhas e Efeitos / *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), propor uma nova estratégia de manutenção para a empresa estudada considerando os resultados obtidos, a fim de melhorar o desempenho processo;

1.3 Metodologia

Propõe-se apresentar inicialmente uma abordagem teórica sobre gestão da manutenção, seus aspectos evolutivos e impactos sobre as organizações, demonstrando seus diferentes tipos e indicadores mais utilizados. Também abordar e discutir os conceitos de Manutenção TPM e RCM, amplamente utilizados em estratégias que envolvem planejamento da manutenção. Definições sobre análise do risco também serão abordadas, assim como a apresentação de algumas de suas técnicas e ferramentas.

Para o caso de estudo será feita uma análise de situação atual, seguido de proposta de um plano de manutenção, para um processo de revestimento de superfícies de materiais metálicos denominado oxidação a negro. Também é suposto avaliar o risco associado a todas as atividades propostas. Esta dissertação teve uma parceria com a empresa Cumsa Tech, que atua no ramo metalomecânico.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este trabalho de dissertação é dividido em 5 capítulos, conforme descrito abaixo.

O capítulo 1 introduz o tema da dissertação, fazendo seu enquadramento face à realidade existente na indústria. São apresentados os objetivos e motivação da presente dissertação bem como a sua estrutura.

O capítulo 2 será dedicado à fundamentação teórica dos assuntos envolvidos no tema manutenção, relatando a evolução histórica, seus principais modelos como TPM, RCM, os principais indicadores, estudo de falhas e fiabilidade. Também são definidos conceitos de análise de risco e técnicas de apoio à decisão.

No capítulo 3 é apresentado o contexto do caso de estudo, com o enquadramento da técnica de revestimento superficial de superfícies metálicas denominada oxidação a negro. A situação atual da empresa é apresentada, assim como os componentes do sistema de produção e os dados do histórico de manutenção.

No capítulo 4 esses dados são trabalhados, através da utilização do software de técnicas estatísticas e de tomada de decisão são aplicadas e, a partir dos resultados obtidos, é proposto uma nova estratégia de manutenção.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões finais do trabalho em relação aos resultados obtidos. Também são apresentadas propostas para trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

É proposto com esta revisão bibliográfica um exame à literatura, tendo como principais assuntos a Gestão da Manutenção e a Análise do Risco. Seus conceitos e definições serão apresentados, assim como suas ferramentas, técnicas e formas de aplicação no âmbito industrial. Motivado à aplicação em caso de estudo, também se mostra presente uma breve análise de modelos estatísticos de validação de dados e tomada de decisão.

2.1 Gestão da Manutenção

Segundo Monchy (1987) a manutenção dos equipamentos de produção é um elemento-chave tanto para a produtividade das indústrias quanto para a qualidade dos produtos. Laugeni e Martins (2002) corroboram com essa ideia colocando que as interrupções levam quase sempre a uma queda na qualidade. Máquinas com defeito trabalhando de forma inadequada, não fabricam produtos dentro das especificações previstas. Este movimento mundial em busca de maior qualidade e menor custo tem levado as empresas a dar à manutenção uma atenção especial.

Waeyenbergh (2005) cita que a produção é responsável em processar as funções básicas em um processo produtivo, transformar matéria-prima, energia e mão de obra em bens e serviço. Para o autor, a manutenção é responsável em garantir a funcionalidade desses processos atuando na reparação, conservação e controle da vida útil de todos os equipamentos e instalações. A Figura 1 representa a combinação das funções produção e manutenção em um modelo de processo produtivo.

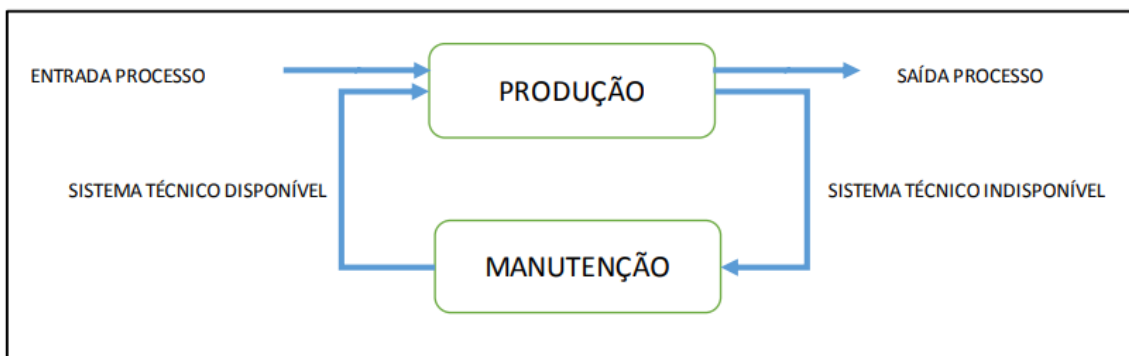


Figura 1: Função produção versus manutenção (Waeyenbergh, 2005).

2.1.1 Evolução da Manutenção

Ao longo do crescimento da indústria e do seu processo de revolução o setor de manutenção passou por várias mudanças para poder acompanhar as novas tendências e conseguir assim o resultado esperado.

Na figura 2 é possível entender a evolução das técnicas de manutenção dividida em 4 gerações em função do tempo. Com esse desenvolvimento os resultados passaram a ser mais analisados e o foco mais amplo, garantindo sempre um melhor resultado alcançado.

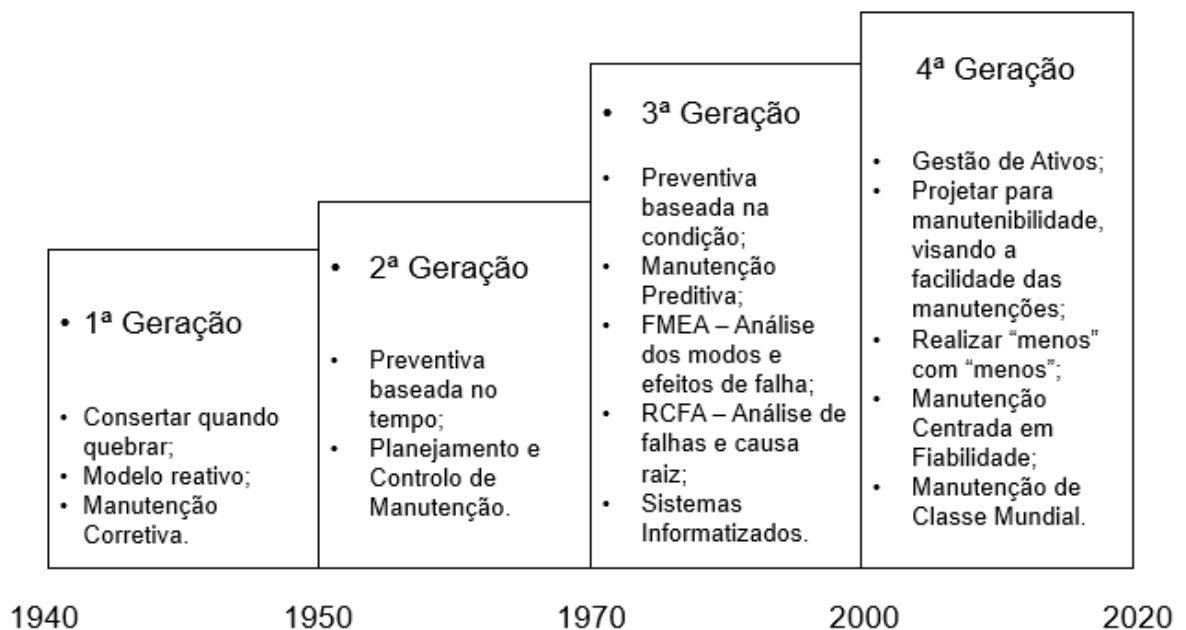


Figura 2: Evolução cronológica das Técnicas de Manutenção. (Adaptado de Moubray, 1997).

A 1ª Geração antecedeu a 2ª Guerra Mundial onde as indústrias eram pouco mecanizadas, os equipamentos eram simples e a produtividade era a principal prioridade. Segundo Pintelon & Parodi-Herz, (2008), a manutenção era retratada como um “mal necessário” e os equipamentos eram, em geral, simples, robustos, sobredimensionados e de baixa produtividade. As práticas de manutenção eram corretivas e as eventuais ações de manutenção preventiva limitavam-se apenas a prestar serviços de limpeza e lubrificação, menosprezando o planejamento e otimização da manutenção dos equipamentos.

A 2ª Geração procedeu a 2ª Guerra Mundial até aos finais dos anos 60. Neste marco temporal houve um aumento da procura por todos os tipos de produtos e a mão de obra industrial, por sua vez, não acompanhou esta demanda. O aumento da dependência da

indústria mecanizada e conseqüente bom funcionamento das máquinas, intensificou também a necessidade de garantir uma maior disponibilidade e fiabilidade. Foi nesta altura que o conceito de manutenção preventiva surgiu e começou a ser considerada com mais atenção (Pintelon & Parodi-Herz, 2008).

A 3ª Geração foi destacada a partir da década de 70. Nesta geração foi destacado pela aceleração do processo de mudança nas indústrias e a paralisação da produção o que refletiu num aumento dos custos. Seiichi Nakajima (1919-2015), neste período no Japão, a partir dos conceitos de manutenção preventiva e entre outros de gestão da produção, desenvolveu a TPM. A indústria japonesa sofreu outra grande alteração pelo aumento dos sistemas de automatização da produção. Este fez com que as máquinas se tornassem cada vez mais importantes no fabrico de produtos de qualidade, uma vez que a mão de obra humana era cada vez menos necessária. No entanto, os sistemas estavam a sobrecarregar as equipas de manutenção, que não tinha capacidade para lidar com estes novos problemas. Por este motivo, criaram uma primeira abordagem à Manutenção Produtiva, apenas relativa à produção, onde os operadores também executavam as manutenções dos equipamentos (Coelho, 2008).

A 4ª Geração é o reflexo que o setor de Manutenção evoluiu em conjunto com a indústria para que a atividade da manutenção se integre rapidamente ao processo produtivo e contribua para que a empresa caminhe rumo à excelência empresarial. Em 2002, surgiu o conceito de Gestão de Ativos que tem como propósito maximizar a capacidade de produção para obter o melhor retorno sobre o investimento (ROI) (Kardec & Nascif, 2009), procurando o envolvimento de todos os intervenientes e áreas da organização.

Na última década, a manutenção industrial teve seu papel nas organizações drasticamente transformado, deixando de ser uma mera parte inevitável da produção para tornar-se um elemento estratégico essencial a fim de alcançar objetivos gerenciais. Pode-se considerar que a gestão da manutenção deixa de ser vista como um custo sobre a produção, mas sim um parceiro interno ou externo para o sucesso.

Para Kardec e Nascif (2009) a manutenção passou a desempenhar papel estratégico nas organizações modernas, sendo o diferencial das empresas líderes em seus segmentos. Segundo os autores, na visão atual, a manutenção existe para “garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados”.

Nas organizações os principais fatores que justificam esta constante adaptação da evolução da manutenção são sobretudo os seguintes:

- Aumento e diversificação das instalações e equipamentos;
- Projetos mais complexos;
- Surgimento de novas técnicas;
- Novas perspectivas sobre a organização da manutenção;
- Necessidade de respostas mais rápidas.

Os profissionais de manutenção também estão a reagir de forma rápida a todas as mudanças, adaptando uma nova postura que inclui (Ramos, 2012):

- Crescente percepção de quanto uma falha do equipamento afeta a segurança e o meio ambiente;
- Maior percepção da relação entre manutenção e a qualidade do produto;
- Grande necessidade para conseguir uma alta disponibilidade das máquinas e instalações e fazer todos os processos sem esquecer o panorama financeiro, pois o bom gerenciamento procura um equilíbrio financeiro para manter a situação financeira de uma empresa estável.

Essas mudanças surgem em reflexo à chegada da 4ª Revolução Industrial, período em que vivemos hoje, conforme ilustrado na Figura 3.

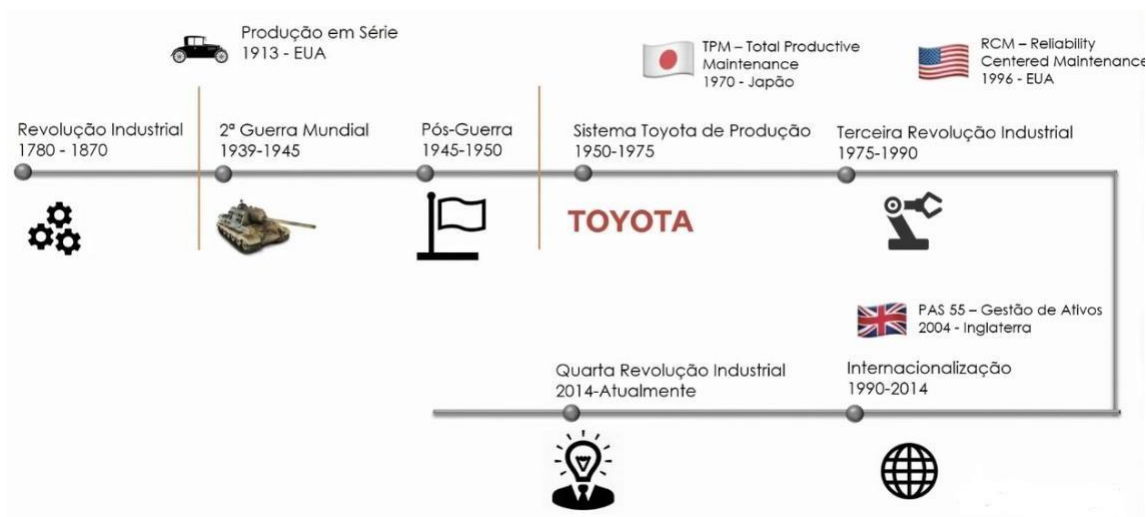


Figura 3: Cronologia do Desenvolvimento Industrial. (Waeyenbergh, 2005).

Diante de uma concorrência cada vez mais eficiente e especializada, muitas organizações procuram sobreviver produzindo mais, com menos recursos, em períodos mais curtos de tempo. Para possibilitar essas necessidades, os ativos físicos assumem um papel central neste cenário. Hoje, a gerência de manutenção é confrontada com instalações técnicas diversas e complexas que operam em um contexto de expectativas técnicas e de negócios extremamente exigente.

2.1.2 Tipos de Manutenção

Existem vários métodos de organização de manutenção. A Figura 4 retrata a organização adotada segundo a norma NP EN 13306:2007, em que se observa que as manutenções preventivas e corretivas se destacam com maior relevância.

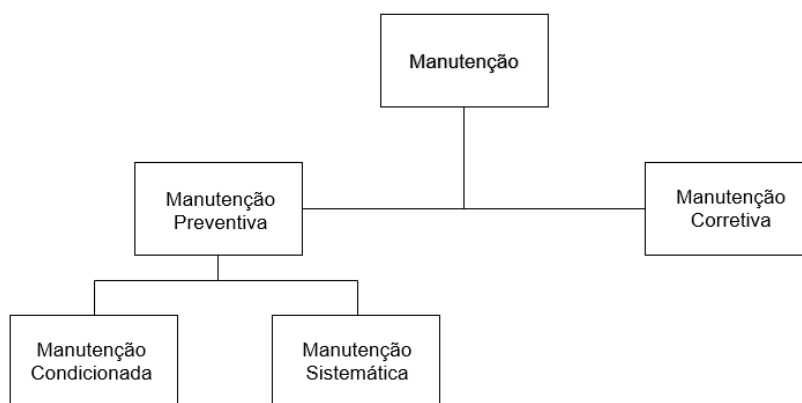


Figura 4: Organização da Manutenção de acordo com a Norma NP EN 13306:2007.

Os tipos de manutenção são caracterizados pela maneira como é feita a intervenção no sistema. Neste trabalho, serão descritas três práticas básicas de manutenção, consideradas como principais por diversos autores. São elas: manutenção corretiva, manutenção preventiva sistemática e manutenção condicionada ou preditiva.

Manutenção Corretiva

Segundo NP EN 13306:2007, a manutenção corretiva ou curativa “é a manutenção efetuada depois da detecção de uma avaria, e destinada a repor um bem num estado em que pode realizar a função requerida”.

De acordo com Slack *et al.* (2002) “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”.

De acordo com Almeida (2000) “poucas plantas industriais usam uma filosofia verdadeira de gerência por manutenção corretiva. Em quase todos os casos, as plantas industriais realizam tarefas preventivas básicas, como lubrificação e ajustes da máquina, mesmo em um ambiente que tende a práticas corretivas.” Entretanto, o mais importante é que ao adotar esse tipo de filosofia, as máquinas e equipamentos da planta não são revistos e não passam por grandes reparações até a falha.

Esse tipo de gerência de manutenção, apesar de simples, pode requerer custos altíssimos, associados a: *stock* de peças sobressalentes, trabalho extra, custo de ociosidade de máquina e baixa disponibilidade de produção (Almeida, 2000). E os custos tendem a aumentar ainda mais caso o tempo de reação se prolongue, seja por falha da equipa de manutenção, seja por falta de peças de reposição. O resultado líquido deste tipo reativo de gerência de manutenção é o maior custo de manutenção e menor disponibilidade de maquinaria de processo. A análise dos custos de manutenção indica que uma reparação realizada no modo corretivo-reativo terá em média um custo cerca de três vezes maior que quando a mesma for feita dentro de um modo programado ou preventivo.

Manutenção Preventiva Sistemática

É o tipo de manutenção voltada para evitar que a falha ocorra, através de manutenções em intervalos de tempo pré-definidos. Pela NP EN 13306:2007, a manutenção preventiva sistemática é “efetuada a intervalos de tempo pré-estabelecidos ou segundo um número definido de unidades de utilização, mas sem controlo prévio do estado do bem”

Segundo Slack *et al.* (2002), “visa eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em intervalos de tempo pré-planeados”.

De acordo com Almeida (2000) “todos os programas de gerência de manutenção preventiva assumem que as máquinas degradarão com um quadro típico de sua classificação em particular”. Ou seja, as reparações e os recondiçnamentos de máquinas, na maioria das empresas, são planeados a partir de estatísticas, sendo a curva do tempo médio para falha a mais largamente usada (Almeida, 2000).

O grande problema deste tipo de abordagem, no entanto, é basear-se em estatísticas para programação de paragens sem avaliar as variáveis específicas da planta que afetam

diretamente a vida operacional normal da maquinaria. Almeida (2000) cita como exemplo que “o tempo médio entre as falhas (MTBF) não será o mesmo para uma bomba que esteja a trabalhar com água e a bombear polpas abrasivas de minério”. Tais generalizações são as principais responsáveis pelos dois problemas mais comuns ao adotar-se a manutenção preventiva: reparações desnecessárias ou antecipadas e falhas inesperadas (Almeida, 2000). No primeiro caso, adota-se um horizonte temporal conservador, sendo a reparação realizada muito antes do necessário, a desperdiçar peças e trabalho. Já no segundo caso, o mais crítico, apesar dos esforços para prevenir a falha, esta acaba por acontecer, a associar gastos preventivos aos corretivos que, conforme já explicado, são maiores.

Manutenção Preventiva Condicionada

A norma NP EN 13306:2007 define manutenção preventiva condicionada ou manutenção preditiva, como sendo “baseada na vigilância do funcionamento do bem e/ou dos parâmetros significativos desse funcionamento, integrando as ações daí decorrentes”.

É a manutenção que realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, que visam definir o instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo (Otani & Machado, 2008).

Segundo Almeida (2000): “(...) trata-se de um meio de se melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro, e a efetividade global de nossas plantas industriais de manufatura e de produção”. Isto ocorre, pois, utiliza-se uma abordagem de ferramentas mais efetivas para obter-se a condição operativa real dos sistemas de produção, ou seja, consegue-se fornecer dados sobre as condições mecânicas de cada máquina, determinando o tempo médio real para falha. Portanto, todas as atividades de manutenção são programadas numa base “conforme necessário”.

Almeida (2000) ainda destaca a diferença mais substancial entre a manutenção corretiva e a preditiva:

“(...) Talvez a diferença mais importante entre manutenção e preditiva seja a capacidade de se programar a reparação quando ele terá o menor impacto sobre a produção. O tempo de produção perdido como resultado de manutenção preditiva é substancial e raramente pode ser recuperado. A maioria das plantas industriais, durante períodos de produção de pico, operam 24 horas por dia. Portanto, o tempo perdido de produção não pode ser recuperado.”

2.1.3 Indicadores de Desempenho

De acordo com a NP EN 15341:2009, os indicadores de desempenho, traduzidos de Key Performance Indicators (KPI), são estabelecidos com o objetivo de dar suporte à gestão, de forma a atingir a excelência da manutenção. Ainda é definido que o desempenho da manutenção é o resultado da utilização eficiente dos recursos para manter a condição de um bem, de forma a cumprir a função requerida.

MTBF (*Mean Time Between Failure*): Indicador que representa o tempo médio entre a ocorrência de uma falha e a próxima (Equação 1), representa também o tempo de funcionamento da máquina ou equipamento diante das necessidades de produção até a próxima falha (Zen, 2008).

$$MTBF = \frac{\sum \text{Tempos de Bom Funcionamento}}{\text{Número de Intervalos Observados}} \quad (1)$$

MTTR (*Mean Time To Repair*): Aponta-nos o tempo que a equipa de manutenção demanda para reparar e disponibilizar a máquina ou equipamento para o sistema produtivo (Equação 2). Neste período estão todas as ações envolvidas a reparação, sejam elas da secção de compras, de laboratório ou qualquer outra equipa de trabalho (Zen, 2008).

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tempos de Reparação}}{\text{Número de Intervenções Observadas}} \quad (2)$$

Mean Waiting Time (MWT): É o tempo médio de espera desde que o equipamento está imobilizado por avaria, até que seja iniciada a intervenção (Equação 3). Cabral (2006) refere que este KPI pode ser influenciado por má sincronização entre produção e manutenção, falta de recursos, entre outros.

$$MWT = \frac{\text{Tempo total de espera}}{\text{Número de avarias}} \quad (3)$$

Mean Down Time (MDT): É o tempo médio de imobilização de um equipamento (Equação 4).

$$MDT = MTTR + MWT \quad (4)$$

Disponibilidade (D): Indica a percentagem de tempo em que o equipamento está disponível para laborar (Equação 5 e Equação 6).

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MWT} \times 100 (\%) \quad (5)$$

$$Disponibilidade = \frac{Tempo de Funcionamento - Tempo de Paragem}{Tempo de Funcionamento} \times 100 \quad (6)$$

Desempenho: É a avaliação do ritmo de trabalho de um equipamento ou processo para concluir o seu ciclo e produzir o esperado, comparando o tempo real de operação com o tempo ideal esperado (Equação 7).

$$Desempenho = \frac{Quantidade Processada \times Tempo Ideal de Ciclo}{Tempo de Operação} \times 100 \quad (7)$$

Qualidade: Está relacionado a conformidade e a não-conformidade de um produto ou processo (Equação 8). Assim, a não-conformidade é o grau de desigualdade em relação aos padrões pré-estabelecidos.

$$Qualidade = \frac{Quantidade Processada - Quantidade de Defeitos}{Quantidade Processada} \times 100 \quad (8)$$

Eficácia geral do equipamento (OEE – Overall Equipment Effectiveness): É a medida mensurável, que permite melhorar o desempenho do equipamento, e deste modo, perceber se o TPM está a ter sucesso ou não. O objetivo final é aumentar o OEE, calculado através da Equação 9: (Ahuja & Khamba, 2008).

$$OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade \quad (9)$$

2.2 Manutenção Produtiva Total – TPM

A primeira empresa a implementar a manutenção produtiva total (TPM) foi a Nippondenso Company, uma fornecedora da Toyota Motors. Entre 1971 e 1988 foram atribuídos 116 prémios de excelência para a implementação deste método, das quais 60% pertenciam ao grupo da Toyota. Este facto demonstra que a TPM é uma excelente ferramenta para complementar a técnica de Just-in-Time (JIT) (Coelho, 2008).

Mais que uma ferramenta, o TPM é uma filosofia que visa eliminar as avarias, otimizando a eficácia do equipamento, promovendo a manutenção autónoma por parte dos

colaboradores. Esta é uma metodologia que afeta toda a cadeia de produção, envolvendo desde os operadores das máquinas aos gestores de topo (Ahuja & Khamba, 2008).

A grande diferença entre a manutenção preventiva e a TPM, surge nas pessoas envolvidas no projeto. Enquanto na manutenção preventiva, os operadores produzem e os técnicos de manutenção executam os trabalhos de manutenção, na TPM os operadores também têm um papel na manutenção dos equipamentos. Há ainda a vertente de toda a empresa estar envolvida, desde os operadores à gestão de topo (Coelho, 2008).

Existem 3 características relevantes de mencionar na TPM (Coelho, 2008):

1. *Eficácia total*: baseando-se na manutenção produtiva e preditiva;
2. *Prevenção da manutenção total*: planejar a manutenção para todo o ciclo de vida do equipamento;
3. *Participação total*: em todos os departamentos existem pequenos grupos de trabalho que realizarão as suas próprias atividades de manutenção do seu setor.

Idealmente, o equipamento deve ter um valor de OEE mínimo de 85% (Ahuja & Khamba, 2008). Tem de se ter em conta ainda os seis tipos de perdas quando queremos calcular o OEE, nomeadamente, dois associados a cada parâmetro da equação (Mahajan, 2018):

- 1) Disponibilidade:
 - a) Avarias do Equipamento;
 - b) Tempos de Mudança de Ferramenta (*Set-up*).
- 2) Desempenho:
 - a) Paragens e Tempos Mortos;
 - b) Perda de Velocidade de Produção.
- 3) Qualidade:
 - a) Defeitos que necessitam de reparação;
 - b) Eficácia reduzida do início da produção até à estabilidade.

Como referido anteriormente, TPM não é propriamente uma ferramenta de manutenção, mas sim uma filosofia que requer a colaboração de todos os trabalhadores, promovendo uma mudança de atitude por parte das pessoas, e dando aos operadores das máquinas uma sensação de propriedade da mesma.

São três os objetivos da TPM: zero defeitos, zero acidentes e zero avarias. Esta ideia de “quebra zero” (Yamaguchi, 2005) baseia-se no conceito de que a quebra é a falha visível causada por uma coleção de falhas invisíveis como um iceberg, conforme ilustrado na Figura 5.



Figura 5: Iceberg de falhas invisíveis e falha visível (Yamaguchi, 2005)

Muitos autores dizem que uma boa implementação do TPM requer instrução dos trabalhadores, trabalho em equipas, preferencialmente multidisciplinares e práticas de manutenção autónoma e preventiva, de forma contínua. Algumas das ferramentas utilizadas no TPM são ferramentas estatísticas (Análise de Pareto, Cartas de Controlo, Diagrama de Ishikawa, etc), Poka-Yoke, 5S, Brainstorming, FMEA, entre outros. (Ahuja & Khamba, 2008)

A filosofia TPM assenta em 8 pilares, como mostra a Figura 6, propostos pela JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance), com o objetivo de aumentar a produtividade de trabalho e reduzir avarias através da manutenção apropriada dos equipamentos, ao mesmo tempo que se reduzem os custos associados a esta tarefa (Mahajan, 2018).

Pilar 1 - Educação e Formação: O objetivo é dotar os operadores de competências que lhes permitam superar os problemas, mantendo a confiança e a motivação.

Pilar 2 - Manutenção Autónoma: Este é o pilar que tem como base a filosofia dos 5 S's, para que os operadores conheçam, compreendam e cuidem do equipamento.

Pilar 3 - Melhoria do Equipamento: O objetivo deste pilar é atingir as metas de 0 defeitos e avarias. (Coelho, 2008) A premissa deste pilar é que um grande número de pequenas mudanças tem um maior efeito na empresa que poucas melhorias de grande valor. (Mahajan, 2018)

Pilar 4 - Manutenção Planeada: Preferência à manutenção proativa em vez da reativa.

Pilar 5 - Controle Inicial: Elaboração de atividades de melhoria, com o objetivo de criar equipamentos sem falhas com o maior índice de OEE.

Pilar 6 - Manutenção da Qualidade: Este pilar foca-se na satisfação total do cliente, produzindo produtos de qualidade, ou seja, conforme os requisitos.

Pilar 7 - Segurança, Higiene e Meio Ambiente: O objetivo deste pilar é criar um ambiente de trabalho seguro e limpo para os trabalhadores, tendo em conta também o meio ambiente.

Pilar 8 - Departamentos Administrativos: Este pilar é referente ao departamento administrativo, para que sejam criadas as condições necessárias à implementação correta do TPM.

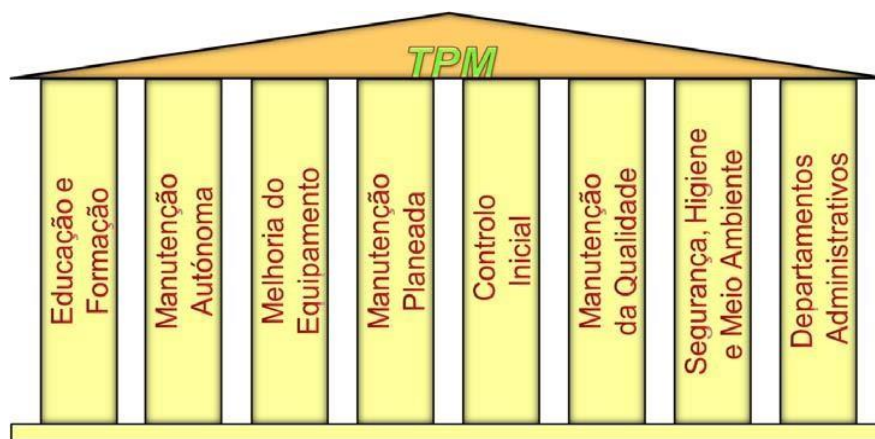


Figura 6: Os 8 Pilares do TPM (Modelo de Nakajima) [(Coelho, 2008)].

Alguns autores apresentam diagramas onde a metodologia dos 5 S's está na base dos pilares que sustentam o TPM. A finalidade desta metodologia é tornar visíveis os problemas no local de trabalho (Mahajan, 2018), promovendo um ambiente de trabalho mais seguro, minimizando desperdícios e atividades que não acrescentam valor e deste modo melhorar a qualidade dos produtos (Coelho, 2008).

- **Organização (Seiri):** Eliminação de tudo o que não seja necessário à produção;
- **Arrumar (Seiton):** utilizar métodos de arrumação eficazes, onde tudo tem o seu lugar, para que seja mais fácil aos operadores encontrarem as ferramentas certas;
- **Limpeza (Seiso):** a limpeza é fundamental uma vez que pode esconder diversos problemas, que podem provocar falhas graves caso não sejam reparados atempadamente;

- **Normalizar (*Seiketsu*):** as melhores práticas associadas a cada área de trabalho deve ser replicada e normalizada para que outros trabalhadores possam executar bem certa tarefa;
- **Formação (*Shitsuke*):** as normas de segurança devem ser cumpridas, assim como a utilização e manutenção correta dos equipamentos.

Anteriormente foi dito que a implementação do TPM é um processo demorado, que deve ser bem ponderado, e por isso, o número de empresas que o conseguem fazer, conseguindo o certificado, é relativamente pequeno. Algumas das barreiras ao sucesso são a resistência à mudança (muitas das vezes com origens culturais), objetivos irrealistas, falta de treino e educação, falta de organização e de comunicação e fraca gestão por parte das entidades competentes. Muitas das vezes, o insucesso deve-se ao facto de os trabalhadores terem receio de sofrerem um aumento de trabalho devido ao aumento de produtividade, ou por poderem perder o seu trabalho devido à manutenção autónoma (Ahuja & Khamba, 2008).

Para entender o sucesso do TPM, temos de ter em consideração que não é apenas um conjunto de instruções, mas sim uma filosofia, que afeta toda a empresa e não é limitada de produção. Deste modo, o sucesso reflete-se em se o objetivo foi cumprido ou não, nomeadamente o aumento do OEE, a longo prazo. Os benefícios que se obtém com o TPM são o aumento da produtividade e qualidade do produto, o que conseqüentemente, resulta num lucro maior para a empresa. Isto ocorre devido à redução de avarias, inatividade, tempos de set-up ou outras paragens das máquinas, que iriam ter um efeito negativo na qualidade dos produtos, bem como nos custos (Ahuja & Khamba, 2008).

A implementação do TPM com sucesso é um processo que leva o seu tempo, com uma média de três anos e meio, desde o início até receber a certificação. A forma mais usual de implementá-la é através do modelo de Nakajima, seguindo os seguintes passos, num total de 4 fases (Ahuja & Khamba, 2008):

1ª Fase - Preparação

- I. Decisão de implementar a TPM pela administração;
- II. Lançamento de uma campanha de sensibilização;
- III. Criação de grupos de trabalho;
- IV. Estabelecer objetivos;
- V. Formular um plano de desenvolvimento.

2ª Fase – Implementação Preliminar

- I. Início do programa TPM;
- II. Reafirmada a decisão da gerência para implementação da TPM.

3ª Fase – Implementação do TPM

- I. Estabelecer um sistema de melhoramento do sistema de produção;
- II. Melhorar a eficácia de cada componente do equipamento;
- III. Desenvolver um programa de manutenção autônoma;
- IV. Desenvolver um horário de manutenção;
- V. “Educar” os trabalhadores sobre os trabalhos de manutenção;
- VI. Desenvolver um programa inicial de gestão do equipamento;
- VII. Estabelecer a organização da manutenção da qualidade;
- VIII. Estabelecer um sistema para melhorar a eficácia da administração;
- IX. Estabelecer sistemas de controlo da segurança, saúde e ambiente.

4ª Fase – Estabilização

A TPM incentiva a manutenção autônoma por parte dos operadores dos equipamentos, incluindo-a nas suas tarefas diárias. Esta mudança leva à otimização das máquinas e conseqüentemente ao aumento da produtividade devido ao aumento da disponibilidade e qualidade de produtos. Assim, esta é uma técnica de melhoria através da otimização dos equipamentos eliminando as falhas e as suas causas. A manutenção preditiva permite prever o momento em que certa falha irá ocorrer, fazendo com que só se repare o equipamento quando necessário, seguindo um plano e durante um período de não produção, o que leva a grandes reduções de custos com materiais ou peças. (Coelho, 2008)

2.3 Manutenção Centrada na Fiabilidade – RCM

Segundo Ramakumar (1993), fiabilidade de sistema é a probabilidade de o sistema funcionar, cumprindo a função para a qual foi projetado, dentro de um intervalo específico de tempo e sob condições preestabelecidas. As condições preestabelecidas para o funcionamento do sistema se referem a aspetos ambientais como umidade, temperatura, exposição à poeira, etc.

Assis (1997) diz que o sistema deixou de cumprir sua função quando este falha. Um sistema pode falhar de forma completa ou parcial. Por exemplo, um motor pode funcionar

ainda que superaquecido. Neste caso, cabe especificar ou não o superaquecimento como uma das maneiras de falhar. A maneira como um equipamento ou componente falha é chamada modo de falha. Cada tipo de equipamento ou componente possui os seus modos de falha e um mesmo equipamento ou componente pode apresentar vários modos de falha.

A RCM, Manutenção Centrada na Fiabilidade / *Reliability Centered Maintenance*, segundo Moubray (1997), é um modelo de apoio à gestão da manutenção, que se baseia na determinação de requisitos de um dado equipamento, no seu contexto operacional.

Pride (2010) define o RCM como a combinação ideal dos modelos de manutenção. As estratégias de manutenção, em vez de serem aplicadas de forma independente, são integradas, para que seja possível tirar o maior partido das suas principais vantagens, com o objetivo de maximizar a fiabilidade e minimizar os custos. Na Figura 7 é apresentada a aplicação de cada modelo de manutenção na filosofia RCM.

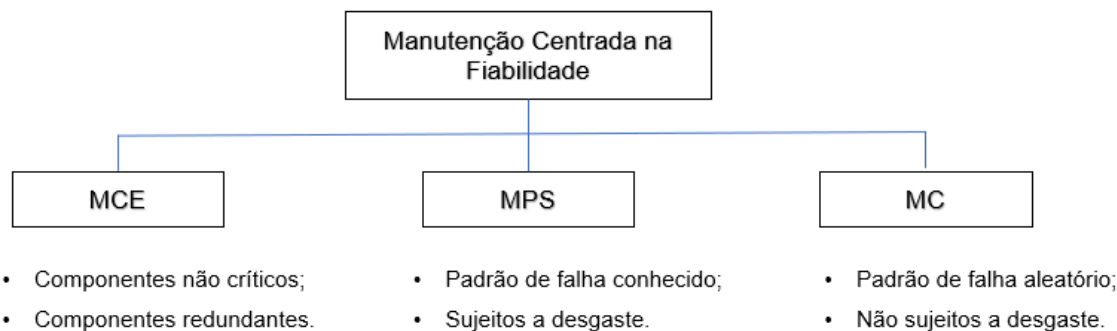


Figura 7: Aplicação de cada modelo de manutenção (Pride, 2010).

Quando falado em produção de peças por meio de máquinas e equipamentos, com qualquer nível de automação, a qualidade do produto final é determinada, entre outros fatores, pelo desempenho do equipamento / máquina que o fabrica. Tradicionalmente, manutenção e qualidade têm sido analisadas separadamente, como identifica Ben-Daya (1996), que apresenta um modelo matemático que leva em consideração a deterioração do equipamento no processamento da produção de lotes económicos. Badía et al. (2002) discute essa questão a relacionar uma manutenção ineficaz com a necessidade de inspeções mais frequentes, o que eleva o custo do controle de qualidade. A deterioração das condições ótimas do equipamento leva a desvios no processo e a queda de qualidade.

Entretanto a busca pelo ajuste da periodicidade da manutenção preventiva nos sistemas e equipamentos torna-se um dos principais pilares da RCM, que a leva a ser uma das técnicas mais recorridas pelos gestores para a redução dos custos de manutenção

mantendo a qualidade da operação e níveis de disponibilidade desejados. A busca por este ajuste leva à uma região de incerteza, conforme ilustrado pela Figura 8.

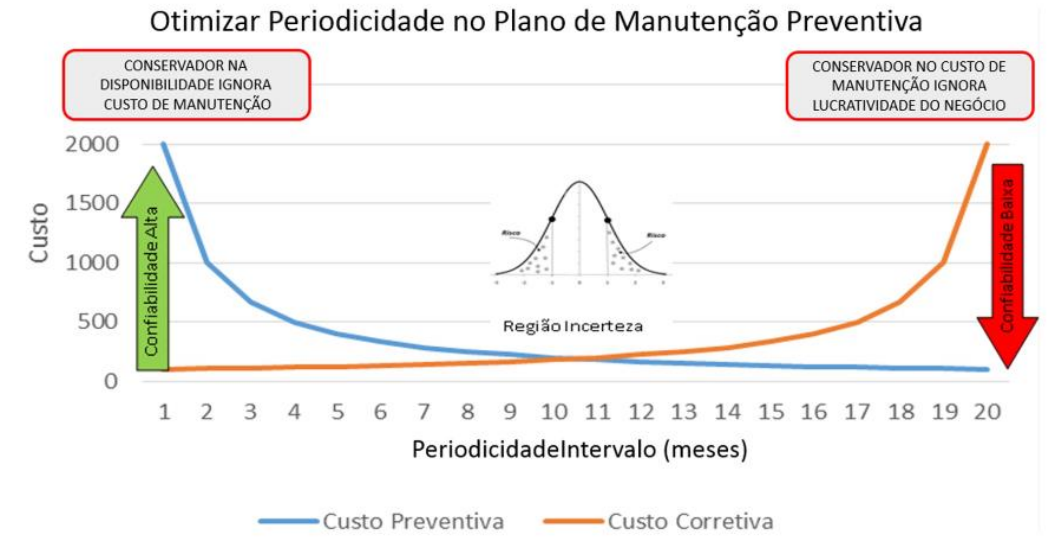


Figura 8: Efeito dos custos na periodicidade de manutenção preventiva (Corrêa & Dias, 2014).

O gráfico da Figura 9 mostra que investimentos crescentes em manutenção preventiva reduzem os custos decorrentes das falhas e, em consequência, diminuem o custo total da manutenção, em que se somam os custos de manutenção preventiva com os custos de falha. Entretanto, também é visível que a partir do ponto ótimo, mais investimentos em MP trazem poucos benefícios para a redução dos custos da falha e acabam elevando o custo total. Essa questão foi estudada por Murty & Naikan (1995), que trabalham os limites da disponibilidade e apresentam um modelo matemático para o cálculo do ponto ótimo.

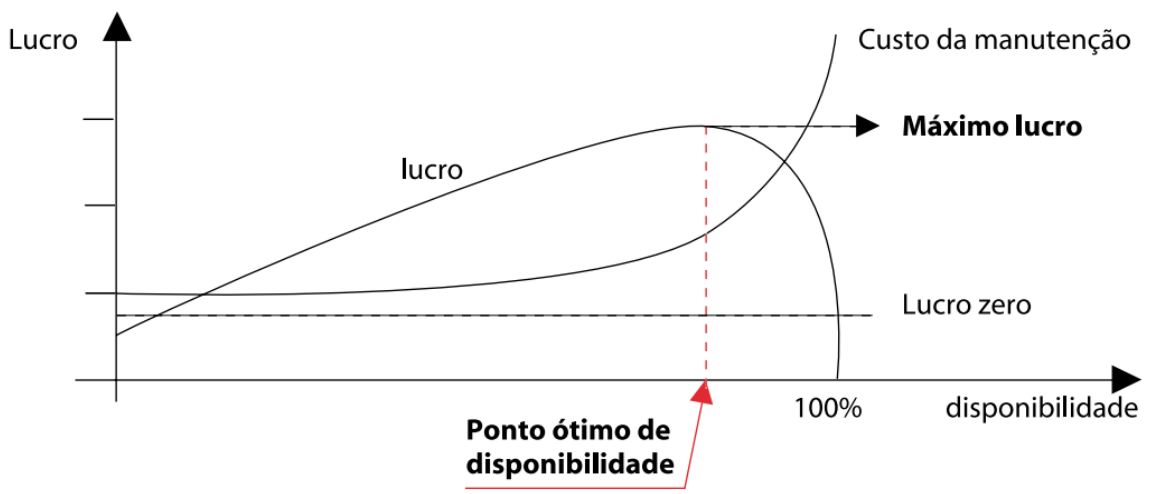


Figura 9: Gráfico lucro versus disponibilidade (Murty & Naikan, 1995).

2.3.1 Falhas

A importância de qualquer falha específica é determinada parcialmente pelo efeito que tem no desempenho de toda a produção ou sistema (Slack, 1999). A partir da detecção, registro e diagnóstico das ocorrências de falhas há uma maximização da probabilidade de atuar com precisão nas causas que realmente impactam negativamente nas metas de produção.

De acordo com o Federal Standard 1037C dos Estados Unidos, o termo falha tem os seguintes significados:

1. Uma condição acidental que faz com que uma unidade funcional não consiga executar sua função.
2. Um defeito que causa um mau funcionamento reproduzível ou catastrófico. Um mau funcionamento é considerado reproduzível se ocorre consistentemente sob as mesmas circunstâncias.
3. Em sistemas elétricos um curto-circuito (total ou parcial) não intencional entre condutores não energizados, ou entre um condutor e o terra. Nesses sistemas, uma distinção pode ser feita entre falhas simétricas e assimétricas.

As interrupções da função do equipamento também podem ser definidas como mau funcionamento ou avarias e classificadas a seguir (Moraes, 1993):

- a) Avarias Abruptas:
 - Fatais: Mais de três horas de duração;
 - De longa duração: Mais de uma hora;
 - Gerais: De cinco a dez minutos;
 - Menores: Menos de cinco minutos.
- b) Avarias por Deterioração: Inicialmente não levam à parada, mas ao longo do tempo comprometem a função do equipamento.
 - Por deterioração funcional;
 - Por deterioração da qualidade.

Pelos conceitos da Engenharia de Fiabilidade, as frequências de ocorrência das falhas em um equipamento podem ser classificadas em decrescente, constante ou aleatória e crescente, e estão em geral associadas ao estágio do ciclo de vida do equipamento (Xenos, 1998).

Falhas de Frequência Decrescente: São associadas ao início da vida do equipamento e normalmente são causadas por problemas de projeto, fabricação, instalação ou erro na operação por falta de formação inicial. Esse período de vida do equipamento em que as

falhas são decrescentes e prematuras é denominado período de mortalidade infantil ou vida inicial.

Falhas de Frequência Constante ou Aleatória: São associadas ao que se costuma denominar vida normal ou fase de estabilidade do equipamento. Em geral, a frequência dessas falhas é menor quando comparada às falhas de frequência crescente ou decrescente e estão associadas à aplicação de esforços acidentais, erros de manutenção e operação e que não tendem a variar à medida que o equipamento envelhece, fase de maturidade.

Falhas de Frequência Crescente: São associadas ao período de instabilidade inerente ao fim da vida útil do equipamento onde este entra em degeneração por fadiga e desgaste, chamada de fase de mortalidade senil.

A Figura 10 demonstra o comportamento das falhas nos equipamentos, e é denominada Curva da Banheira devido a sua forma. Este modelo apresenta a combinação dos três períodos de frequência das falhas.

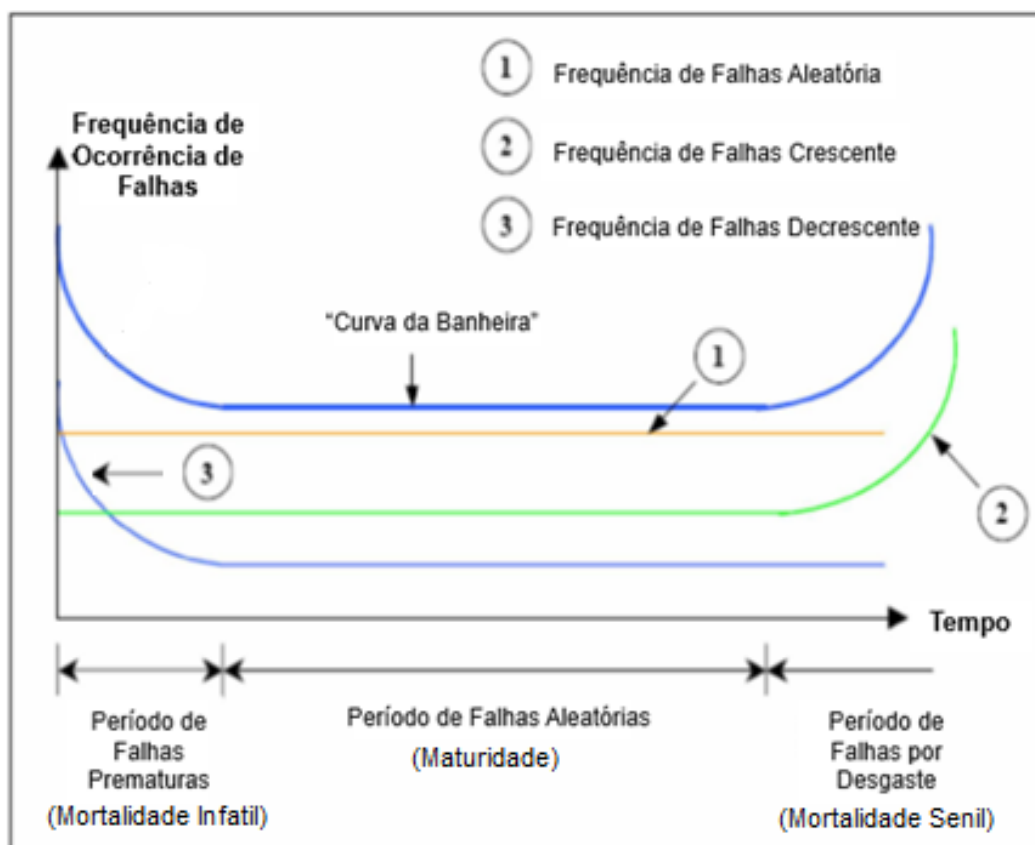


Figura 10: Curva da Banheira: comportamento de falhas de um equipamento. (Moraes, 2004).

De acordo com Siqueira (2005) uma função será significativa se uma falha funcional vier a provocar efeito adverso no sistema principal, com consequências sobre a segurança, ao meio ambiente, a operação e a economia. Tal avaliação é realizada pelos impactos das falhas funcionais e não por sua importância ou dimensão, isoladamente.

É proposto na Tabela 1 níveis de detetabilidade da falha.

Tabela 1: Matriz de Detetabilidade de Falhas. (Siqueira ,2005).

| Nível | Detetabilidade | Descrição |
|--------------|-----------------------|--|
| 1 | Fácil | Falha detetável por procedimento operacional |
| 2 | Razoável | Falha detetável por inspeção operacional |
| 3 | Difícil | Falha detetável por ensaio funcional |
| 4 | Muito difícil | Falha detetável apenas por desligamento |
| 5 | Impossível | Falha totalmente oculta |

2.3.2 Distribuição de Weibull

A Distribuição de Weibull no contexto da engenharia da fiabilidade é largamente usada como distribuição de probabilidade de falhas, devido à sua versatilidade na descrição do tempo de vida até à falha de componentes sujeitos a fenómenos de degradação (fadiga, corrosão, desgaste, fluência ou simultaneidade de alguns destes).

Conforme Weibull (1951), essa distribuição é uma ferramenta estatística que possibilita modelar a distribuição de falha de sistemas mecânicos originadas por desgaste, com bastante precisão. Bertsche (2005) afirma que, com a distribuição de Weibull, é possível modelar diferentes comportamentos de falha através de uma função de densidade de probabilidade. De acordo com Lafraia (2001), a análise de Weibull permite determinar a fase de falhas prematuras, a fase de falhas casuais ou aleatórias (taxa de falha constante) e a fase de falhas por desgaste.

A distribuição de Weibull pode ser triparamétrica ou biparamétrica. Com a distribuição triparamétrica, pode-se determinar o período inicial de vida. Neste período inicial é também considerado o tempo gasto em testes e ensaios de equipamentos eletrônicos (ensaios burn-in) ou rolamentos. Em alguns casos é o período de tempo decorrido até a primeira falha de um item, num lote considerado. Na distribuição biparamétrica, este período inicial é desconsiderado, dado que o período de vida útil é muito maior que este período inicial.

A distribuição de Weibull pode ser caracterizada matematicamente, conforme equações abaixo:

Densidade de Probabilidade (Equação 10):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta - t_0} \left(\frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^{(\beta-1)} \times e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta-t_0}\right)^\beta} \quad (10)$$

Função de Fiabilidade (Equação 11):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta-t_0}\right)^\beta} \quad (11)$$

Função de Probabilidade de Falha (Equação 12):

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta-t_0}\right)^\beta} \quad (12)$$

Função de Taxa de Falha (Equação 13):

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta - t_0} \left(\frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^{(\beta-1)} \quad (13)$$

Nesta função, t representa o tempo, ciclos de funcionamento ou qualquer outra medida descritiva de duração de vida, e a base dos logaritmos naturais. Os parâmetros η , β e t_0 possuem o seguinte significado:

- $t_0 > 0$ representa o parâmetro de localização e corresponde ao menor valor assumido por t (por exemplo, no caso de modos de falha que tenham como causa o desgaste ou a fadiga, a falha só poderá ocorrer após algum tempo de funcionamento; caso de um rolamento, por exemplo);
- $\beta > 0$ representa o parâmetro de forma, traduz o mecanismo de degradação (física da falha) - quanto maior o seu valor mais a moda da função se desloca para a direita;
- $\eta > 0$ representa o parâmetro de escala e correspondente ao valor característico (vida característica em fiabilidade).

Em qualquer dos casos, o parâmetro mais significativo da distribuição em termos de decisões para o projeto é o parâmetro de forma, normalmente representado por (β) . É aquele que dá a aparência da distribuição. Se $\beta < 1$, os dados indicam que o item está se comportando como se estivesse na parte inicial da vida, fase de juventude. Nesses casos,

diz-se que as falhas têm origem no projeto, no processo, ou na utilização, devido à inadequada aplicação. Quando $\beta = 1$, a função densidade de probabilidade equivale à função distribuição exponencial, a taxa de falha é constante e o item está na fase de vida útil. Quando $1 < \beta < 2$, indica que se tem um rápido aumento da função densidade de probabilidade para curto período de vida; ponto evidente para definir a necessidade de manutenção preventiva. A curva passa a ter uma taxa de crescimento, praticamente constante, aproximando-se, neste caso, de uma log-normal. À medida que o parâmetro de forma aumenta, $\beta \geq 3,44$, a distribuição de Weibull se aproxima da distribuição Normal. No limite, quando β assume valores muito grandes, a função tende a concentrar todos os pontos próximos a uma reta paralela ao eixo das ordenadas, traçada a partir da taxa de falha característica.

Conforme apresentado anteriormente, a distribuição pode ser triparmétrica ou biparmétrica. Para representação biparmétrica, substitui-se a variável t_0 , por “zero”, transformando a equação fiabilidade conforme apresentado na Equação 14.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (14)$$

2.4 Análise do Risco

A avaliação do risco é demasiado importante em um sistema de gestão de segurança e uma obrigação legal por parte das entidades patronais. Este conceito permite prevenir ocorrências de acidentes de trabalho e doenças profissionais.

Conforme observam Billinton e Allan (1992), “a sociedade tem uma grande dificuldade em distinguir um perigo, que pode ser priorizado em termos de sua severidade, mas não leva em conta sua probabilidade, e risco, que considera não somente o evento perigoso, mas também a sua probabilidade de ocorrer”.

Milazzo e Aven (2012) define risco como a combinação da probabilidade da frequência dos eventos e consequências associadas.

Apesar das medidas preventivas permitirem a redução dos riscos existentes e/ou suas consequências, nem sempre é possível eliminar os perigos na totalidade. Desta forma, torna-se importante a precisão para identificação de perigos e a avaliação dos riscos de forma a sabermos qual nível é considerado adequado.

A avaliação de riscos ocupacionais tem como base, tradicionalmente, os perigos contidos no local de trabalho. O contexto da segurança dos processos industriais, tem como objetivo prever os riscos causados por falhas, desvios, erros no sistema industrial ou operação que possam levar a consequências indesejáveis (Koivisto et al. 2009).

Este conceito permite-nos otimizar o planeamento e organização das atividades, ter um sistema dinâmico, bem como facultar a entrada de novos conhecimentos, o que leva à prática de melhoria contínua ao sistema de segurança implementado.

Implementada de forma correta, permite-nos:

- Planear a prevenção de acidentes e doenças profissionais;
- Otimizar o sistema de gestão implementado com o feedback de vários inputs recebidos;
- Conciliar, planear e introduzir a implementação das medidas preventivas no processo produtivo;
- Otimizar a realização de um posto de trabalho ou tarefa na sua fase embrionária;
- Melhorar a produtividade garantindo ao trabalhador melhores condições de trabalho ou tarefas mais adequadas às suas funções.

A avaliação dos riscos identifica situações não conformes que serão retificadas com implementação de medidas preventivas necessárias. Sua implementação permite atuar em vários pontos, desde a fase de conceção, como seja a criação de um novo posto de trabalho ou início de uma nova atividade. Poderá também ir melhorando com vários dados de *inputs* para o sistema de gestão, como histórico de acidentes ou incidentes internos ou externos, auditorias, acompanhamento das questões de segurança etc.

A Figura 11 ilustra o que acontece com a curva de risco após a implementação de medidas de prevenção.

Desta forma, é importante aplicar uma avaliação dos riscos adequada, saber as suas tolerâncias e falhas.

Uma análise do risco consiste dos seguintes elementos:

- Identificação dos perigos, isso significa identificar as possíveis fontes de danos;
- Identificar os riscos, isso significa identificar eventuais cenários de acidentes em que estes perigos realmente possam causar danos;

- Avaliar se as medidas foram tomadas de forma satisfatória para prevenir os acidentes e limitar os possíveis danos.
- Não considerar somente uma forma de medir o risco ou de apresentar uma estimativa do mesmo. Diferentes técnicas devem ser praticadas.

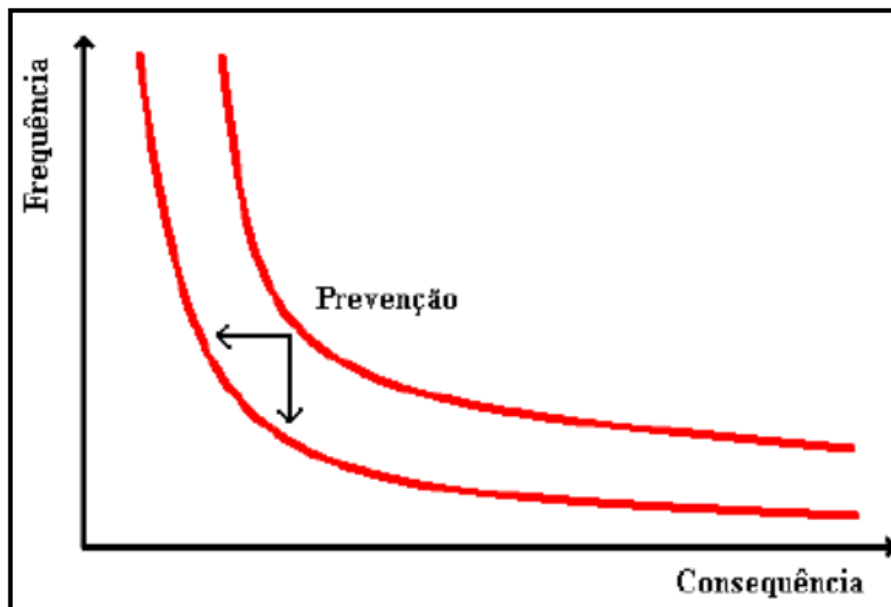


Figura 11: Comportamento da curva de riscos com as medidas mitigadoras. (Melo et al., 2002)

Lidar com "acidentes graves" implica que esses eventos têm em comum o potencial de afetar muitas pessoas e por isso mesmo na avaliação de riscos deverão ser considerados dois princípios que se revelam fundamentais (Kirchsteiger, 1999):

- Estruturação da operação, de modo que sejam abordados todos os perigos e riscos relevantes;
- Identificação do risco, de modo a equacionar se o mesmo pode ser eliminado.

De forma simples, a avaliação de riscos pode ser definida como o conjunto de técnicas e ferramentas usadas para identificar, estimar, avaliar, monitorizar e administrar acontecimentos que colocam em risco a execução de um projeto (Gadd et al., 2003).

A implementação de medidas preventivas identificadas na avaliação de riscos torna-se muito mais simples em numa fase de concepção do posto de trabalho ou atividade, do que em uma fase de produção.

2.4.1 Métodos de Análise do Risco

Neste trabalho apresentam-se três métodos possíveis para análise do risco, nomeadamente: o Método de Análise de Modos e Efeito de Falha (FMEA), o Método William T. Fine, e o Método de Avaliação de Risco Simplificado (MARS).

Método de Análise de Modos e Efeito de Falha (FMEA)

A FMEA é um método indutivo que permite analisar para cada componente de um sistema, de forma sistemática, os vários modos de falha que poderão ocorrer, as suas causas e os efeitos de funcionamento e segurança do sistema (Pedrosa, 2014).

Deste modo, de forma mais simples, este método de avaliação de riscos determina o estudo das falhas dos componentes de um equipamento ou qualquer sistema através de uma análise específica (Freitas, 2016).

Este método pode ser classificado em diversos tipos, de acordo com o objeto de estudo, no entanto, esta classificação não é unânime em toda a literatura. De acordo com Stamatis (2003) este método pode ser classificado em quatro tipos: Sistema, Produto/Projeto, Processo e Serviço. Outros autores classificam em três tipos: Sistema, Produto/Projeto e Processo. No entanto a classificação com maior concordância, existente na literatura, divide-a em apenas dois tipos: Produto/Projeto e Processo (Pedrosa, 2014).

O FMEA tem como objetivo identificar, delimitar e descrever as não conformidades (modo da falha) geradas pelo processo e seus efeitos e causas, para através de ações de prevenção poder diminuí-los ou eliminá-los.

A sua aplicação está relacionada com os seguintes objetivos:

- Diminuir a probabilidade da ocorrência de falhas em projetos de novos produtos ou processos;
- Diminuir a probabilidade de falhas potenciais (que ainda não tenham ocorrido) em produtos ou processos em operação;
- Aumentar a confiabilidade de produtos ou processos em operação através da análise das falhas que já ocorreram;
- Diminuir os riscos de erros e aumentar a qualidade em procedimentos administrativos.

Neste método o objetivo é identificar os índices de risco, hierarquizando-os através de pesos atribuídos a cada um dos itens, onde:

- Ocorrência de causa (O): probabilidade de a causa existir e provocar uma falha;
- Gravidade do efeito (G): probabilidade em que o cliente identifica e é prejudicado pela falha;
- Detecção da falha (D): probabilidade de a falha ser detetada antes do produto chegar ao cliente.

Geralmente, utiliza-se a escala de 1 a 10 para hierarquizar os itens analisados pelo FMEA.

A Escala dos itens Ocorrência de Causa e Gravidade do Efeito e a Escala do item Detecção da Falha são representadas pelas seguintes Tabelas 2 e 3 respetivamente.

Tabela 2: Escala dos itens Ocorrência e Gravidade do Efeito

| Nunca | Raramente | Muito baixa | Baixa | Moderada para baixa | Moderada | Moderada para alta | Alta | Muito alta | Sempre |
|-------|-----------|-------------|-------|---------------------|----------|--------------------|------|------------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Tabela 3: Escala do item Detecção da Falha

| Nunca | Raramente | Muito baixa | Baixa | Moderada para baixa | Moderada | Moderada para alta | Alta | Muito alta | Sempre |
|-------|-----------|-------------|-------|---------------------|----------|--------------------|------|------------|--------|
| 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

O índice de risco da atividade ou Números Prioritários de Risco (NPR) é calculado através da Equação 15.

$$\text{NPR} = O \times G \times D \quad (15)$$

Método William T. Fine

O Método de William Fine tem como objetivo estabelecer prioridades, integrando o grau de risco com a limitação económica. Por intermédio dele, o departamento de Segurança pode projetar o “timing” de implementação, o esforço e a previsão de verba, de acordo com o nível de perigosidade de cada risco.

Tal sistema de prioridade está alicerçado numa fórmula simples, que calcula o perigo de cada situação, e tem como resultado o Grau de Perigosidade ou Risco. Este grau determina a urgência da tomada de decisão, ou seja, se o risco deve ser tratado com maior ou menor urgência.

A Justificação dos Investimentos na segurança deverá estar diretamente relacionada com o Grau de Perigosidade. É óbvio que, se por exemplo, o investimento em sistemas de segurança e o grau de perigosidade for baixo, deve haver uma forma de balancear o investimento. Com este método obtém-se um parâmetro para realizar e justificar o investimento na segurança.

O método assenta na caracterização do nível de risco tendo por base três variáveis e seu resultado é obtido conforme a Equação 16.

- Consequência (C) – o resultado mais provável de um potencial acidente;
- Exposição ao risco (E) – a frequência com que ocorre a situação de risco;
- Probabilidade (P) – representando a probabilidade associada à ocorrência do acidente. Tendo por base as variáveis referidas, o grau de perigosidade ou risco vem definido como o produto da extensão das consequências, pela exposição e pela probabilidade.

$$Risco = C \times E \times P \quad (16)$$

Método de Avaliação de Risco Simplificado (MARS)

O MARS um método elaborado pelo *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo* (INSHT), que permite hierarquizar os riscos, possibilitando uma ordem na intervenção.

Sua análise considera $R = f(P \times C)$, em que R é o conjunto de danos esperados por unidade de tempo, P a probabilidade de ocorrência ou nível de probabilidade (NP) e C as consequências ou nível de consequências (NC). Assim, o Risco é o resultado da Equação 17, ilustrado pela Figura 12, em que NE é o nível de Exposição e ND o nível de Deficiência.

$$Risco = (NE \times ND) \times NC \quad (17)$$

De acordo com Santos e Almeida (2019), este método inicia-se pela definição do posto de trabalho a estudar e colheita de dados sobre o mesmo (legislação, manuais de máquinas, fichas de segurança, dados estatísticos, exposição dos trabalhadores) e prossegue com a elaboração de uma lista de verificação associada aos riscos a analisar.

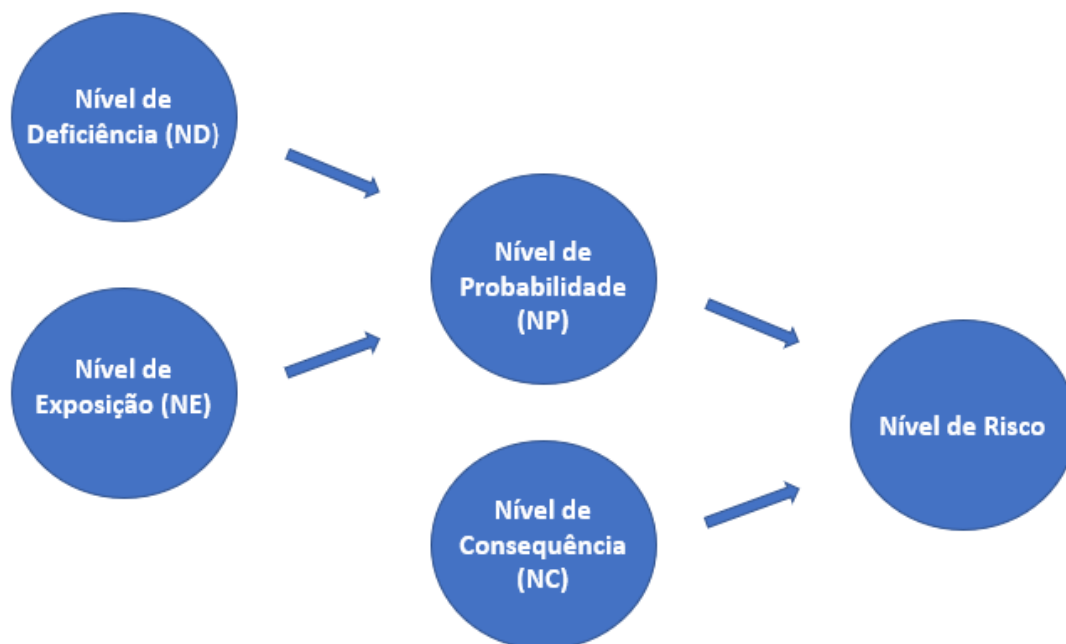


Figura 12: Diagrama de Avaliação dos Riscos. (Fernandez, 2016).

No final obtém-se um Nível de Intervenção e analisam-se os resultados. Neste método não se usam valores reais, mas apenas os seus níveis. O preenchimento deverá ocorrer no local de trabalho.

Na Tabela 4 podem ser encontrados os significados dos diversos Níveis de Deficiência.

Tabela 4: Significado dos vários níveis de deficiência.

| Nível de Deficiência | ND | Significado |
|-----------------------|----|---|
| Muito Deficiente (MD) | 10 | Foram detetados fatores de risco significativos que determinam a elevada probabilidade de acidente. As medidas existentes são ineficazes. O dano ocorrerá na maior parte das vezes. |
| Deficiente (D) | 6 | Existe um fator de risco significativo, que precisa ser eliminado. A eficácia das medidas de prevenção vê-se drasticamente reduzida. |
| Melhorável (M) | 2 | São constatáveis fatores de risco de importância reduzida. A eficácia das medidas preventivas não é globalmente posta em causa. |
| Aceitável (B) | 1 | Não se detetou qualquer anomalia que caiba referir. O risco está controlado. |

Na Tabela 5 podem ser encontrados os significados dos diversos Níveis de Exposição.

Tabela 5: Significado dos vários níveis de exposição.

| Nível de Exposição | NE | Significado |
|--------------------|----|---|
| Continuada (EC) | 4 | Contínua: Várias vezes ao longo do período labora, com exposição prolongada. |
| Frequente (EF) | 3 | Várias vezes ao longo do período laboral, ainda que por curtos períodos. |
| Ocasional (EO) | 2 | Uma vez por outra, ao longo do período de laboração, por um reduzido espaço de tempo. |
| Esporádica (EE) | 1 | Irregularmente: Uma vez por mês ou menos e por pouco tempo. |

Tabela 6: Relação entre o Nível de Deficiência e o Nível de Exposição.

| | | | Nível de Exposição (NE) | | | |
|---------------------------|----|----|-------------------------|-------|------|------|
| | | | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Nível de Deficiência (ND) | MD | 10 | MA-40 | MA-30 | A-20 | A-10 |
| | D | 6 | MA-24 | A-18 | A-12 | M-6 |
| | M | 2 | M-8 | M-6 | B-4 | B-2 |
| | B | 1 | B-4 | B-3 | B-2 | B-1 |

Na Tabela 7 podem ser encontrados os significados dos diversos Níveis de Probabilidade.

Tabela 7: Significado dos Níveis de Probabilidade.

| Nível de probabilidade | NP | Significado |
|-------------------------------|-----------|--|
| Muito alta (MA) | 24 a 40 | Situação deficitária com exposição continuada ou muito deficitária com exposição frequente; acidentes ocorrem com frequência |
| Muito alta (MA) | 10 a 20 | Situação deficitária com exposição frequente ou ocasional ou muito deficiente com exposição ocasional/ esporádica; possibilidade alta de acidentes |
| Média (M) | 6 a 8 | Situação deficitária com exposição esporádica ou melhorável com exposição continuada ou frequente; acidentes ocasionais |
| Baixa (B) | 2 a 4 | Situação melhorável com exposição ocasional ou esporádica; acidentes improváveis, mas não impossíveis |

Na Tabela 8 podem ser observados os significados dos Níveis de Consequências.

Tabela 8: Significado dos Níveis de Consequências.

| Nível de Consequências | NC | Significado | |
|-------------------------------|-----------|---|--|
| | | Danos pessoais | Danos materiais |
| Mortal ou catastrófica (M) | 100 | Um morto pelo menos | Destruição total do sistema |
| Muito grave (MG) | 60 | Lesões graves que podem ser irreparáveis | Destruição parcial do sistema (recuperação custosa) |
| Grave (G) | 25 | Lesões com incapacidade laborais temporárias | Paragem obrigatória do processo para efetuar a reparação |
| Leve (L) | 10 | Pequenas lesões que não requerem hospitalização | Reparável sem necessitar de paragem |

Relembra-se que o $NR = NP \times NC$ na Tabela 9 é possível analisar a conjugação entre os Níveis de Probabilidades e de Consequências.

Tabela 9: Conjugação entre os Níveis de Probabilidade e de Consequências.

| | | Nível de Probabilidade (NP) | | | |
|-----------------------------|-----|-----------------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| | | 40- 24 | 20- 10 | 8- 6 | 4- 2 |
| Nível de Consequências (NC) | 100 | I 4000- 2400 | I 2000- 1200 | I 800-600 | II 400- 200 |
| | 60 | I 2400- 1440 | I 1200- 600 | II 480- 360 | II 240 III 120 |
| | 25 | I 1000- 600 | II 500- 250 | II 200- 150 | III 100- 50 |
| | 10 | II 400- 240 | II 200 III 100 | III 80- 60 | III 40 IV 20 |

Na Tabela 10, estão estratificados os Níveis de Intervenção, em função dos Níveis do Risco.

Tabela 10: Significado dos Níveis de Intervenção.

| Nível de Intervenção | NR | Significado |
|----------------------|------------|---|
| 1 | 600 - 4000 | Situação crítica; Correção urgente. |
| 2 | 150- 500 | Corrigir e adotar medidas de controlo. |
| 3 | 40-120 | Melhorar se possível; é conveniente justificar a intervenção e a sua rentabilidade. |
| 4 | 20 | Não é necessário intervir, salvo se outra análise mais exigente o justificar. |

Por fim, na Tabela 11 é exemplificada uma tabela para registo e aplicação do método.

Tabela 11: Exemplo de Tabela de Registo.

| Perigos | Risco | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|---------|-------|----|----|----|----|----|----|-------------------------------|
| | | | | | | | | |

Na Tabela 12 apresenta-se uma comparação entre os três métodos expostos anteriormente levando em consideração suas aplicações, vantagens e desvantagens (Santos e Almeida, 2019).

Tabela 12: Comparação entre Métodos usados para Avaliação de Riscos Laborais.

| Métodos | Aplicações | Vantagens | Desvantagens |
|------------------------|--|--|---|
| FMEA | Analisa de que forma um equipamento ou sistema pode falhar e as consequências que daí podem resultar | Muito eficiente em sistemas simples | Mais adequada a indústrias de processo; pode falhar se o sistema não for conhecido ao pormenor; se o sistema for complexo são necessárias outras técnicas |
| Método William T. Fine | Identifica os perigos e hierarquiza e controla os riscos | Estima probabilidade, exposição e consequências; justifica economicamente as ações | Há subjetividade no cálculo da perigosidade e depende da experiência de quem executa |
| MARS | Quantifica a amplitude dos riscos e dá hierarquia na intervenção | Fácil e rápido | O ponto de partida é a deteção de não conformidades |

2.4.2 Principais Riscos e Recomendações na Indústria Metalomecânica

De forma a entender a necessidade de realizar uma análise de riscos, deve-se inicialmente fazer uma reflexão em relação aos riscos e medidas preventivas a considerar. Neste caso abordar-se-á o sector da indústria metalomecânica, uma vez que, posteriormente no caso de estudo, será feita uma análise de risco às atividades de manutenção de um processo de oxidação a negro.

A identificação de riscos é um elemento decisivo na prevenção de acidentes e doenças profissionais, pelo que deve ser elemento essencial na gestão dos sistemas de segurança das empresas. Sem o conhecimento dos riscos existentes, não haverá prevenção e a consequente redução da sinistralidade laboral.

De acordo com Ricardo J. (2016), os principais riscos mecânicos a que estão expostos os trabalhadores deste sector são:

- Agarramento, enrolamento, arrastamento, aprisionamento;
- Corte, corte por cisalhamento;

- Golpe ou decepamento;
- Esmagamento;
- Choque ou impacto;
- Abrasão ou fricção;
- Ejeção de fluidos à elevada pressão;
- Projeção de objetos;
- Perda de estabilidade;
- Perfuração, picadela;

A localização dos perigos mecânicos das máquinas está diretamente relacionada com os seus órgãos móveis e encontram-se sobretudo em 3 áreas:

1. No ponto de operação: ponto de corte, moldagem, perfuração, estampagem, esmagamento ou empilhamento de material.
2. Mecanismos de transmissão de força: qualquer componente do sistema mecânico que transmita energia às partes da máquina que executam o trabalho. Ex.: volantes, polias, correias, junções, engates, correntes, engrenagens, manivelas, etc.
3. Outras partes móveis: todas as partes que se movam enquanto a máquina trabalha com movimento recíproco. Ex.: movimentos retilíneos, giratórios, alternados, mecanismos de alimentação ou partes auxiliares das máquinas.

2.5 Ferramentas de Apoio à Tomada de Decisão e Validação Estatística

A validação de modelos de fiabilidade é feita por meio de testes estatísticos (testes de hipótese) ou com auxílio de técnicas gráficas. A resposta que se pretende obter por meio da etapa de validação é se o modelo adotado é adequado à representação dos dados de falha e/ou reparação de um sistema em estudo. A etapa de validação de modelos é essencial ao trabalho da engenharia de fiabilidade, pois o uso de modelos inadequados pode levar a decisões equivocadas. A seguir são apresentadas as técnicas mais utilizadas para a validação de modelos.

Análise de Variância (ANOVA):

É uma metodologia estatística utilizada para testar se um determinado fator tem efeito significativo sobre a variável dependente. Assim, para verificar estatisticamente se há diferenças significativas entre as médias anuais de TTR e TBF para os diferentes fatores considera-se o uso de um modelo de análise de variância com uma classificação (Montgomery & Runger, 2012). Foi desenvolvido por Ronald Fisher em 1918.

Segundo Ferreira & Patino (2015), o *p-value* p é definido como a probabilidade de se observar o valor dado da estatística de teste, sob a hipótese nula. Tradicionalmente, o valor de corte para rejeitar a hipótese nula é 0,05, o que significa que, quando não existe diferença, espera-se um valor tão extremo para a estatística de teste em menos de 5% das vezes

As etapas gerais para realizar a ANOVA são:

- Configurar a hipótese nula e alternativa onde a hipótese nula afirma que não há diferença significativa entre os grupos e a hipótese alternativa assume que há uma diferença significativa entre os grupos;
- Calcular a razão F e a probabilidade de F;
- Compare o *p-value* do F-ratio com o alfa estabelecido ou nível de significância;
- Se o *p-value* de F for inferior a 0,5, deve-se rejeitar a hipótese nula.
- Se a hipótese nula for rejeitada, conclui-se que as médias dos grupos não são iguais.

Teste Anderson-Darling:

É um método de medição do comportamento de dados ao seguir uma distribuição em particular. Para um conjunto especificado, quanto melhor o ajuste à distribuição menor será o resultado estatístico. Também é usado para comparar dados que seguem várias distribuições e apontar qual delas é a que melhor se ajusta. A fim de concluir qual distribuição é a mais adequada, a estatística de Anderson-Darling deve ser substancialmente menor do que as outras. Quando esses resultados são muito próximos uns dos outros, deve-se usar critérios adicionais, como gráficos de probabilidade.

Método da Verossimilhança Máxima:

É um método de ajuste de um modelo direto aos dados que consiste em maximizar a função de densidade de probabilidades em relação aos efeitos fixos e aos componentes de variâncias dos efeitos aleatórios do modelo a fim de estimar parâmetros. Este método é iterativo e fornece sempre estimativas positivas de componentes de variâncias.

Para melhor análise, há também técnicas gráficas que dão suporte às análises estatísticas. Uma delas é conhecida por Plotagem de Probabilidade. Tal técnica consiste basicamente em plotar os dados do modelo linearizado em um gráfico x-y em escala logarítmica. Tais

gráficos são padronizados para cada tipo de distribuição e conhecidos como papéis de probabilidade. É uma técnica simples na qual a conclusão sobre se o modelo é adequado ou não aos dados se dá quando estes estão alinhados ao modelo linearizado.

Uma vantagem da plotagem de fiabilidade e o uso de gráficos padronizados é que, uma vez que o modelo tenha sido validado, os parâmetros do modelo podem ser facilmente obtidos diretamente dos gráficos.

Outra técnica simples bastante utilizada é a análise do gráfico função taxa de falha. Neste gráfico é em geral possível a identificação de tendências nos dados, o que pode auxiliar na escolha de distribuições mais adequadas. Não é, no entanto, um método conclusivo.

3 Estudo do Processo de Revestimento por Oxidação a Negro

Neste capítulo é apresentado o caso de estudo deste trabalho, com todos os passos e objetivos a serem cumpridos e as ferramentas utilizadas para a obtenção dos resultados.

O estudo foi realizado à técnica de revestimento de superfícies metálicas denominada oxidação a negro, amplamente utilizada na indústria metalomecânica como um revestimento do material para a sua proteção contra fatores que o degradam, principalmente a corrosão.

Em colaboração com a empresa Cumsa Tech, é apresentado o cenário atual em que o processo produtivo se encontra, assim como os componentes do sistema de produção e suas funcionalidades. Também é levantado o histórico de manutenção do processo entre os anos de 2018 e 2020.

3.1 Metodologia do Estudo

Este caso de estudo tem como objetivo analisar e caracterizar o comportamento funcional de uma atividade industrial denominada oxidação a negro numa empresa do sector metalomecânico, a fim de propor melhorias na gestão da manutenção e avaliar os riscos que suas atividades oferecem.

A proposta de uma metodologia de gestão baseia-se em indicadores de falha e reparação dos ativos que compõem o processo, obtidos entre 2018 e 2020. Também será realizada uma análise comparativa entre diferentes métodos de análise de risco aplicadas às atividades de manutenção preventivas propostas, tendo em vista os perigos que existem neste processo industrial.

A metodologia deste trabalho segue as seguintes etapas:

1. Fundamentação Processo Oxidação a Negro;
2. Enquadramento da empresa Cumsa Tech e seu *know-how*;
3. Estruturar e analisar os componentes do processo;
4. Recolher dados de TBF e TTR ao longo dos últimos anos;
5. Realizar teste de normalidade dos dados, em escala normal e logarítmica a fim de identificar a melhor distribuição dos dados;

6. Realizar a análise de variância (ANOVA) para identificar se há significância de TBF e TTR dos três anos com base nos resultados dos *p-values*;
7. Comparar distribuições de probabilidade com o objetivo de identificar a que melhor se adequa aos dados (Weibull e Exponencial) através do método de Anderson-Darling;
8. Modelar os dados por uma distribuição de Weibull obtendo os estimadores de máxima verossimilhança dos parâmetros de forma ao longo da vida do sistema (Software Minitab);
9. Realizar análise comparativa dos parâmetros de forma de cada ano através da curva da banheira;
10. Propor uma nova estratégia a partir dos resultados estatísticos dos dados;
11. Realizar a análise FMEA para identificação dos possíveis modos de falha dos componentes do sistema;
12. Hierarquização dos pontos críticos e definição de estratégias a partir do gráfico de pareto;
13. Elaborar planos de ação para atividades de manutenção planeada;
14. Aplicação do método MARS para análise do risco das atividades de manutenção.

3.2 Enquadramento do Processo de Oxidação a Negro

O processo conhecido industrialmente por Oxidação a Negro consiste em produzir um filme de óxido de ferro preto uniforme e aderente na superfície, o qual apresenta uma proteção média contra a corrosão e não altera as dimensões e propriedades físicas ou mecânicas, da peça tratada. A Oxidação a Negro possui certas propriedades e características que a tornam ideal para determinadas aplicações, incluindo a combinação de propriedades e acabamento com o menor preço de mercado (Zempulski, 2008).

De acordo com Hager e Evans (2015), o termo “oxidação negra” refere-se a conversão da superfície do aço em Fe_3O_4 ou magnetita pela imersão do material base em um banho alcalino quente.

É indicado para superfícies de aço, aço inox, cobre, latão e estanho. Em resumo, onde não é aceitável a aplicação de qualquer processo de recobrimento metálico ou alteração das dimensões da peça, sendo muito utilizado no tratamento de armas de fogo e peças ferrosas tais como: ferramentas de corte, molas, corpos de válvula, porta ferramentas, fixadores, moldes, componentes e blocos de máquinas hidráulicas, correntes, rodas dentadas, engrenagens, parafusos, ferramentas manuais e de máquinas, componentes automotivos

em geral, etc. Em ferramentas, este tratamento é muito importante uma vez que reduz a reflexão da luz nas peças, minimizando, assim, a fadiga ocular ao manuseá-las.

A oxidação a negro é um processo bem estabelecido usado para aços ferramenta e aços rápidos. Aumentos de mais de 100% na vida de ferramentas podem ser atingidos, na maior parte devido à redução do atrito, pela formação do óxido duro e sua habilidade de reter lubrificante, auxiliando na interface entre ferramenta e material (Durrferit, 2013).

Após a oxidação negra, é feito um pós-tratamento com óleo, cera ou verniz, para aumentar a resistência à corrosão, principalmente para peças expostas a ambientes externos.

O brilho do filme de óxido depende do estado da superfície da peça. Desta forma, superfícies polidas produzirão filmes pretos brilhantes, enquanto superfícies foscas permanecerão foscas após o tratamento. Na Figura 13, são apresentados cilindros hidráulicos que sofreram este tratamento.



Figura 13: Cilindros hidráulicos após sofrerem o tratamento de Oxidação a Negro.

Segundo Zempulski (2008), o processo tem como composição base as seguintes etapas (Figura 14):

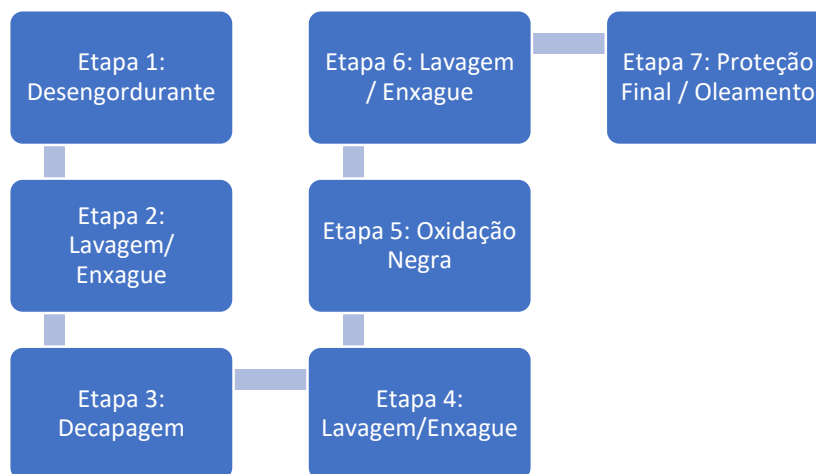


Figura 14: Fluxograma do Processo Oxidação a Negro.

Etapa 1: Desengorduramento

Tem por objetivo garantir a remoção de substâncias orgânicas da superfície do material que se deseja tratar, pois sua presença compromete a qualidade do revestimento do metal base. Esta etapa garante a qualidade final do material.

Etapa 2: Lavagem / Enxague

O enxague intermediário entre os banhos objetiva-se em remover o excesso de desengordurante, para não contaminar a próxima etapa.

Utiliza-se água com transbordamento contínuo ou conforme a demanda, em renovação constante e, preferencialmente, sob agitação, para que o contacto com a superfície metálica com a água seja maior, o que garante melhores resultados. Sua temperatura permanece próxima à ambiente.

Etapa 3: Decapagem

Os decapantes têm como finalidade remover ferrugem, películas indesejadas de oxidação e carepas de laminação, de modo a obter uma superfície metalicamente limpa e isenta de impurezas e óxidos. Um meio económico e eficaz para esta remoção é a decapagem por ácidos.

Utiliza-se ácidos como sulfúrico (H_2SO_4), clorídrico (HCl), nítrico (HNO_3), fosfórico (H_3PO_4), bem como misturas destes ácidos. O ácido sulfúrico, devido ao seu baixo custo, alto ponto de ebulição, disponibilidade e propriedades em geral, é amplamente utilizado na decapagem de aços.

Embora o ataque ácido sobre a superfície metálica tenha como finalidade a remoção da ferrugem e oxidação, este deve ser controlado a fim de evitar o consumo do metal, o desgaste anormal das peças, além do perigo produzido pela liberação do hidrogénio que pode fragilizar os aços.

Etapa 4: Lavagem / Enxague

Nesta etapa do processo, o enxague tem como objetivo remover partículas e resíduos ácidos da etapa anterior. Utiliza-se água desionizada com transbordamento contínuo ou conforme produção, em que a peça deve entrar em equilíbrio térmico com a solução. Quando submetido à agitação mecânica, esta operação é mais eficaz.

Etapa 5: Oxidação Negra

Após realizadas as etapas de preparação das superfícies, inicia-se a fase de oxidação propriamente dita, que consiste na imersão completa da peça em um tanque com um volume adequado da solução apropriada, a uma determinada temperatura, onde ocorrem as reações a quente ou a frio para se promover a formação do óxido negro de ferro.

O ideal é que as peças sejam introduzidas já secas ao tanque, caso contrário a água evaporará instantaneamente podendo causar espirros e outros acidentes, assim como se as peças forem adicionadas muito rapidamente.

A oxidação, em seu processamento a quente, é realizada pela imersão da peça em uma solução aquosa concentrada de hidróxido de sódio (NaOH), $\pm 800\text{g/l}$, e nitrito de sódio, $\pm 100\text{g/l}$, à temperatura de ebulição (entre 138°C à 144°C), por aproximadamente 45 minutos. Para temperaturas acima de 149°C , a formação do óxido vermelho de ferro é acelerada, prejudicando o resultado.

Para diminuir a temperatura de ebulição, pode-se adicionar água à solução oxidante, assim como para aumentar o ponto de ebulição, deve-se aumentar a concentração dos agentes químicos.

Etapa 6: Lavagem / Enxague

Esta tem como objetivo remover os álcalis da etapa anterior e preparar a superfície para o acabamento final. Para os fins ideais, utiliza-se água com transbordamento contínuo ou conforme produção, em constante renovação a uma temperatura de aproximadamente 60°C .

Etapa 7: Proteção Final

Recomenda-se sempre aplicar óleo em toda a superfície do material, pois o óxido negro sem um pós-acabamento possui uma proteção contra corrosão muito pobre. Além do óleo, também pode-se aplicar cera ou verniz, sendo possível alcançar excelentes níveis de proteção contra corrosão em ambientes fechados.

Faz-se necessário um bom sistema de exaustão de vapores no processo de oxidação negra. A lama de óxidos insolúveis formada no fundo do tanque de processamento não pode ser acumulada, devendo ser regularmente drenada ou retirada por outros métodos.

A Oxidação a Negro é um processo que oferece grande risco caso medidas de segurança não sejam cumpridas ao executar-se atividades de operação e manutenção, pois o colaborador está sujeito ao contacto direto de produtos químicos com a pele, inalação de gases tóxicos, além do risco de queimaduras devido às altas temperaturas dos líquidos que podem chegar até 145°C.

Abaixo, foram listados os principais riscos que envolvem este processo assim como as suas condições perigosas em que o colaborador é exposto (Tabela 13).

Tabela 13: Principais riscos em atividades de tratamentos superficiais. (Ricardo J., 2016)

| Principais Riscos | Condições Perigosas |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Exposição a contaminantes químicos (ácidos, alcalinos) (exposição a fumos, gases e vapores libertados); ● Exposição ao ruído; ● Associados à iluminação; ● Riscos térmicos; ● Risco de corte, esmagamento; ● Riscos de choque ou impacto; ● Quedas, escorregamento; ● Riscos elétricos; ● Desrespeito pelos princípios ergonómicos. | <ul style="list-style-type: none"> ● Colocação manual das peças nos suportes; ● Transporte de peças de grande dimensão na ponte rolante; ● Imersão manual (ou automática) dos suportes, com as peças, nos tanques; ● Manuseamento de contaminantes químicos (contacto direto de produtos com a pele); ● Velocidade de imersão das peças nos tanques elevada; ● Ventilação dos espaços de trabalho insuficiente ou mal dimensionada; ● Iluminação insuficiente dos postos de trabalho; ● Presença de eletricidade estática; ● Contacto com partes ativas; ● Movimentação manual de cargas. |

3.3 Processo de Oxidação a Negro - Situação Atual

Este trabalho foi realizado em parceria com a empresa CUMSA Tech, que atua desde 2018 no fabrico de componentes de extração para moldes de injeção, como cilindros hidráulicos. Além de operações de maquinação em máquinas CNCs, a empresa também possui em seu portfólio de produção o tratamento superficial de Oxidação a Negro, essencial para o acabamento e o alto nível de qualidade de seus produtos, oferecendo também este serviço a clientes externos. Na Figura 15 é apresentado o fluxograma de produção da empresa.

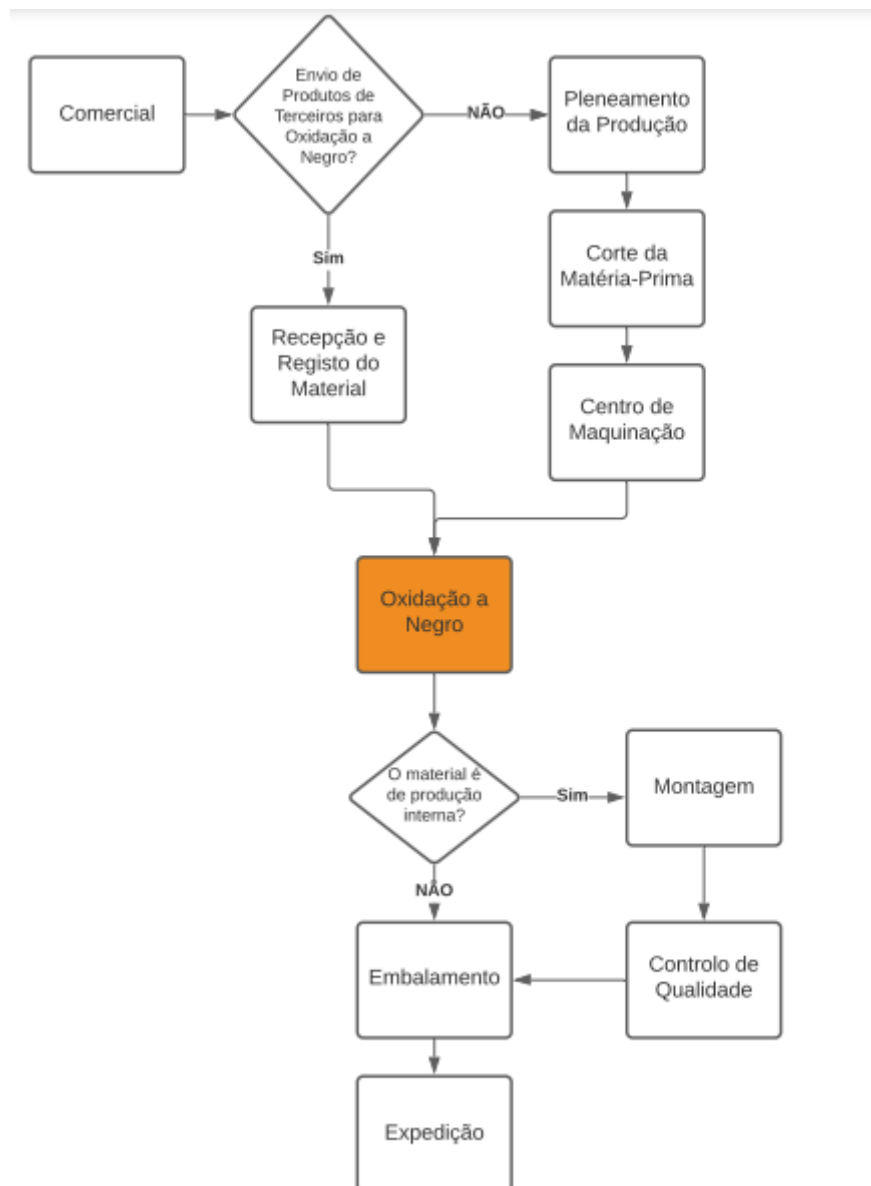


Figura 15: Fluxograma do Processo de Produção da Cumsa Tech

Como as instalações desta fábrica são recentes, não há um plano de manutenção com atividades preventivas para o processo de Oxidação a Negro, a não ser a reposição dos produtos químicos necessários para o bom funcionamento do processo. Isto é feito tendo como referência três principais fatores:

- i. Temperaturas registadas pelos sensores;
- ii. Aspetto visual das soluções líquidas nos tanques;
- iii. Qualidade final das peças após sofrerem o tratamento;

A aposta da empresa tem sido na manutenção corretiva por substituição ou reparação de componentes. Entretanto, ao longo do tempo tem-se identificado um aumento da frequência das interrupções, afetando o desempenho da secção e toda a produção. Algumas tarefas corretivas exigem o acionamento de uma empresa especializada para a reparação, elevando ainda mais o custo deste processo.

Portanto, é proposto que seja analisada a mudança do comportamento da linha de Oxidação a Negro para elaboração de um plano de manutenção preventiva a fim de reduzir suas interrupções e aumentar o desempenho da produção.

Na Figura 16 apresenta-se o processo simplificado de oxidação negra executado por esta empresa, bem como alguns parâmetros utilizados para a obtenção do resultado final.
















| | Processo | Descrição | Objetivo | Temperatura da emulsão | Duração |
|---|-----------------|--|---|------------------------|---|
| 1 | Desengordurante | Este é o primeiro passo do processo de oxidação. A peça é mergulhada por completo e é retirada a sujidade acumulada. |  Desengordurar;  Limpar todos os elementos. | 65°C |  10 Minutos |
| 2 | Lavagem | O próximo passo, é composto apenas por água. |  Remoção total do produto anteriormente exposto. | Temperatura ambiente |  2 Minutos |
| 3 | Decapagem | Neste passo os tempos recomendados não devem ser ultrapassados. |  Limpeza de ferrugem;  Inibição do ataque de substâncias ácidas | Temperatura ambiente |  5 minutos |
| 4 | Lavagem | O próximo processo, é composto apenas por água. |  Remoção total do produto anteriormente exposto. | Temperatura ambiente |  2 minutos |
| 5 | Oxidação | Resulta na oxidação negra para o aço. |  Elimina a formação de ferrugem;  Elimina a formação de corrosão | 140°C - 145°C |  30 - 90 minutos |
| 6 | Lavagem | Neste último passo, a peça já oxidada permanece mais tempo, para, sair a uma temperatura mais baixa e ser verificada a sua conformidade. |  Remoção total do produto anteriormente exposto. | 60°C |  5 minutos |

Figura 16: Etapa dos tanques da Linha de Oxidação a Negro. (Empresa Cumsa Tech, 2018).

Para início da análise, foi necessário mapear todos os componentes pertencentes a esse sistema e dividi-los em grupos. A disposição do ambiente do processo é apresentada na Figura 17.

1. Quadro Elétrico / Automação: Está localizado dentro da sala onde ocorre o processo e por conta disso fica sujeito aos vapores dos sais químicos. Possui dois filtros, entrada e saída para a circulação de corrente de ar. O quadro é alimentado pela energia geral da fábrica e abriga todos os componentes de acionamentos elétricos da linha de oxidação.
2. Ponte Rolante: Há a necessidade de uma ponte rolante para a execução do processo de oxidação a negro. O operador acopla as peças a serem oxidada a barras com ganchos e faz o transporte com a ponte pelos tanques através de um comando manual.
3. Tanques / Aquecedores: É a parte essencial do processo, onde de fato as peças são tratadas. Onde ocorrem as etapas de desengorduramento, decapagem e oxidação a negro e suas respectivas lavagens. Além das soluções aquosas com sais químicos, os tanques das etapas de 1, 5 e 6 possuem dois aquecedores e um sensor de temperatura cada.
4. Sistema de Exaustão de Vapores: O processo de oxidação a negro exala muitos vapores de sais químicos que são prejudiciais a saúde do ser humano e por conta disso, faz-se necessário um sistema eficiente de exaustão para purgar este excesso. Este é feito com um duto de ventilação onde o ar é filtrado, limpo e enviado ao ambiente.
5. Sistema Agitação Mecânica dos Tanques (Ar): Para aumentar a eficiência de trabalho de todos os tanques, faz-se necessário o uso de um sistema de injeção de ar no fundo dos tanques, o que provoca agitação mecânica na solução. No tanque da oxidação em particular, esta ação evita o acúmulo de lama de sais no fundo.
6. Sistema de escoamento de Líquidos: Há na sala corredores de ralos a fim de promover um descarte cuidadoso e sustentável de todas as soluções líquidas que possam por algum motivo vazar dos tanques, o que acabar por ser comum quando o processo está a decorrer. Estes ralos conduzem a um reservatório subterrâneo localizado na área externa da empresa. Este deve ser esvaziado com uma bomba para um outro recipiente de fácil transporte quando tem sua capacidade máxima atingida

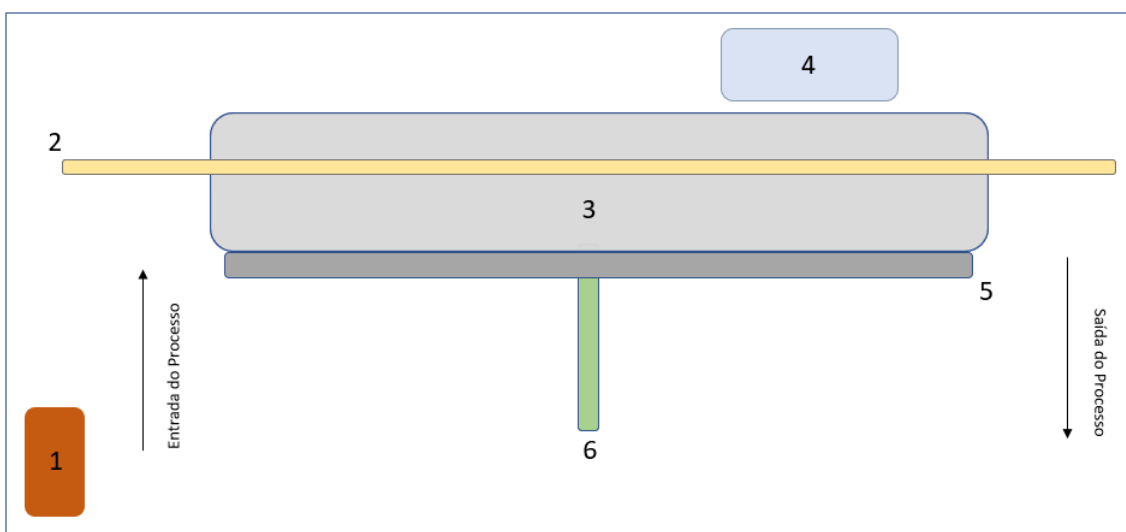


Figura 17: Layout dos componentes no ambiente do processo.

A partir da identificação de todos os componentes da linha de oxidação, foram mapeadas todas as interrupções do processo a fim de abastecer um histórico de falhas.

3.4 Definição da Amostra de Dados Recolhida

A linha de Oxidação a Negro teve seu arranque em fevereiro de 2018 com um regime de atividades de produção de 8 horas diárias, 5 dias por semana e desde então teve seu registo de indisponibilidade controlado. A amostra de dados recolhida para análise estatística consiste em 63 registos de atividades de interrupção do funcionamento da linha por falhas que descaracterizaram a atividade normal do processo até dezembro de 2020. Estes dados encontram-se presentes no Anexo A. Na Tabela 14 é apresentado o extrato dos dados do Anexo A.

No primeiro ano foram registadas 14 ocorrências, seguidos de 21 em 2019 e 28 interrupções em 2020. Os registos contêm o tempo contínuo em que o processo esteve a trabalhar (Tempo), os tempos entre falhas (TBF) e os tempos de reparação (TTR) relacionados aos diferentes componentes que podem paralisar o processo.

Tabela 14: Extrato de dados de manutenção recolhidos entre os anos de 2018 a 2020.

| Nº Manutenção | Ano | Componente | Tempo (h) | TBF (h) | TTR (h) |
|----------------------|------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|
| 1 | 2018 | 3 | 77 | 77 | 1 |
| 2 | 2018 | 3 | 170 | 93 | 1 |
| 3 | 2018 | 5 | 273 | 103 | 3 |
| 4 | 2018 | 3 | 389 | 116 | 1 |
| 5 | 2018 | 5 | 492 | 103 | 2 |
| 6 | 2018 | 3 | 637 | 145 | 5 |
| 7 | 2018 | 2 | 779 | 142 | 2 |
| 8 | 2018 | 3 | 882 | 103 | 2 |
| 9 | 2018 | 2 | 998 | 116 | 4 |
| 10 | 2018 | 3 | 1164 | 166 | 2 |
| 11 | 2018 | 2 | 1288 | 124 | 5 |
| 12 | 2018 | 5 | 1425 | 137 | 1 |
| 13 | 2018 | 4 | 1620 | 195 | 2 |
| 14 | 2018 | 3 | 1806 | 186 | 7 |
| 15 | 2019 | 6 | 1914 | 108 | 1 |
| 16 | 2019 | 1 | 1962 | 48 | 1 |
| 17 | 2019 | 2 | 2037 | 75 | 1 |
| 18 | 2019 | 3 | 2179 | 142 | 3 |
| 19 | 2019 | 3 | 2219 | 40 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

4 Análise e Discussão dos Resultados

A partir dos dados do histórico de manutenção do processo de Oxidação a Negro, serão aplicadas técnicas estatísticas para verificar se há variância significativa dos valores em relação aos anos que se passaram, tanto para os TBF quanto para os TTR. O software Minitab será utilizado como ferramenta para estas aplicações.

Também será aplicada a distribuição de Weibull para identificação dos fatores de forma e escala dos três anos para uma análise comparativa entre eles através do conceito da curva da banheira. A partir do cenário obtido, será recomendada uma nova estratégia de manutenção através da utilização da ferramenta FMEA. Através da técnica MARS, será realizada a análise do risco das atividades de manutenção propostas para identificação dos pontos de atenção.

4.1 Aplicações de Modelos de Fiabilidade

As análises estatísticas deste capítulo foram realizadas através do software Minitab, com base nos dados recolhidos com a empresa Cumsa Tech.

Por meio de um teste de normalidade e de histogramas foram comparados os dados de TBF e TTR para as 63 interrupções em suas escalas originais e logarítmicas a fim de verificar-se em qual se ajustam melhor à distribuição dos dados. Os que obtiverem o valor do *p-value* abaixo de 0,005 não seguem a normalidade.

Foi realizada a análise comparativa dos TBF de 2018, 2019 e 2020 em escalas normais e logarítmicas, conforme Figuras 18, 19 e 20 respetivamente:

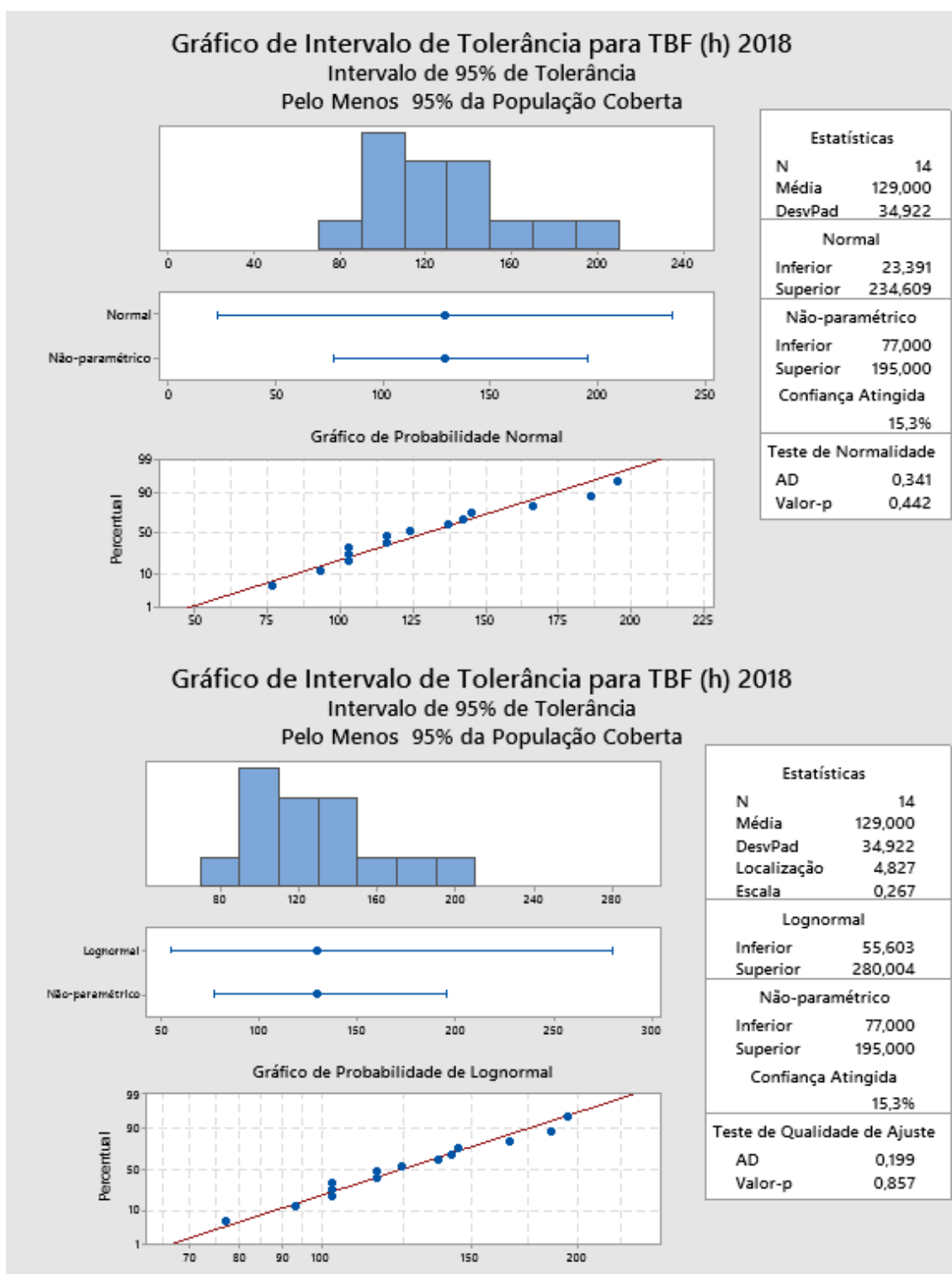


Figura 18: Análise dos TBF 2018 em escala normal e logarítmica.

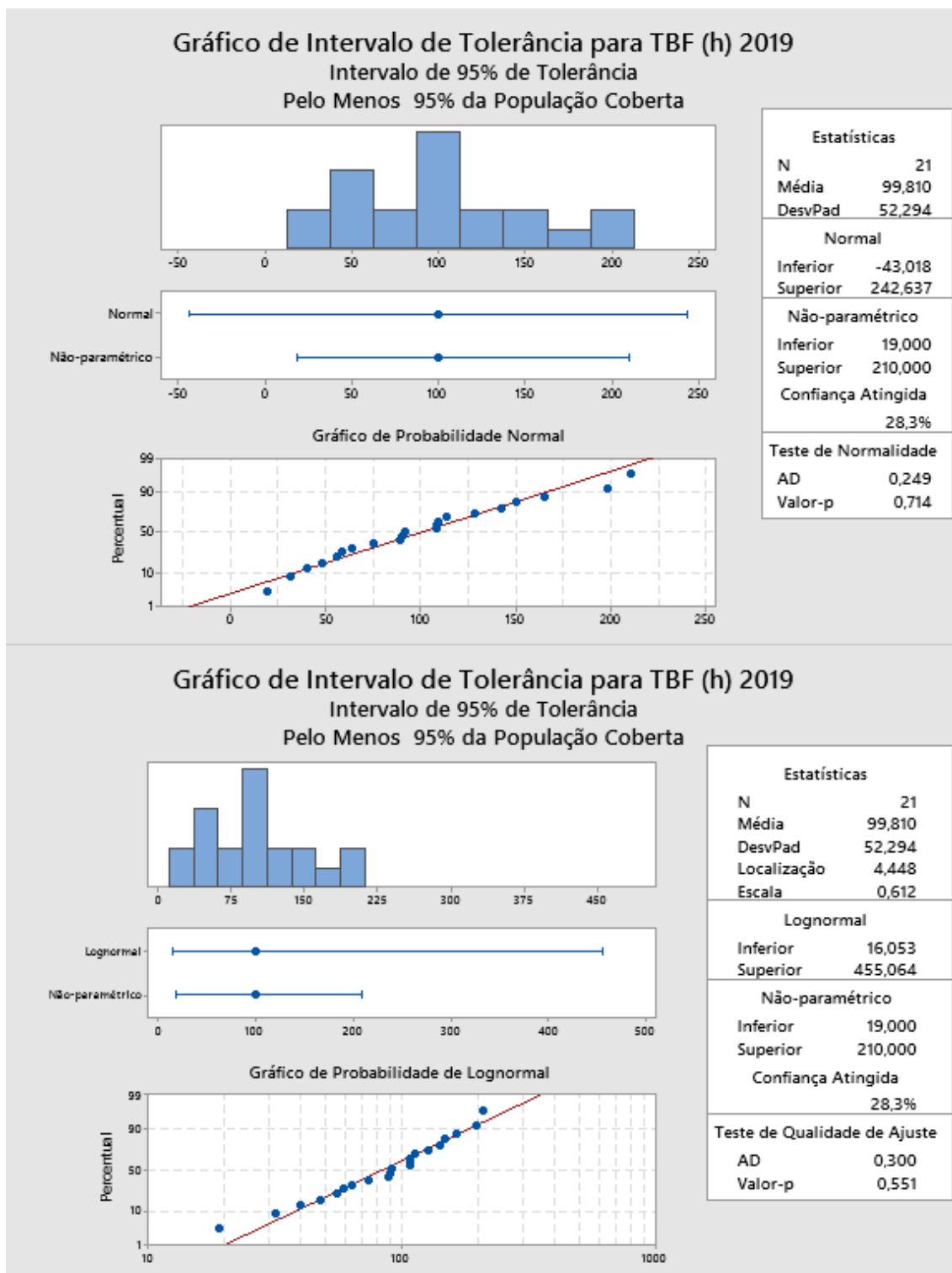


Figura 19: Análise dos TBF 2019 em escala normal e logarítmica.

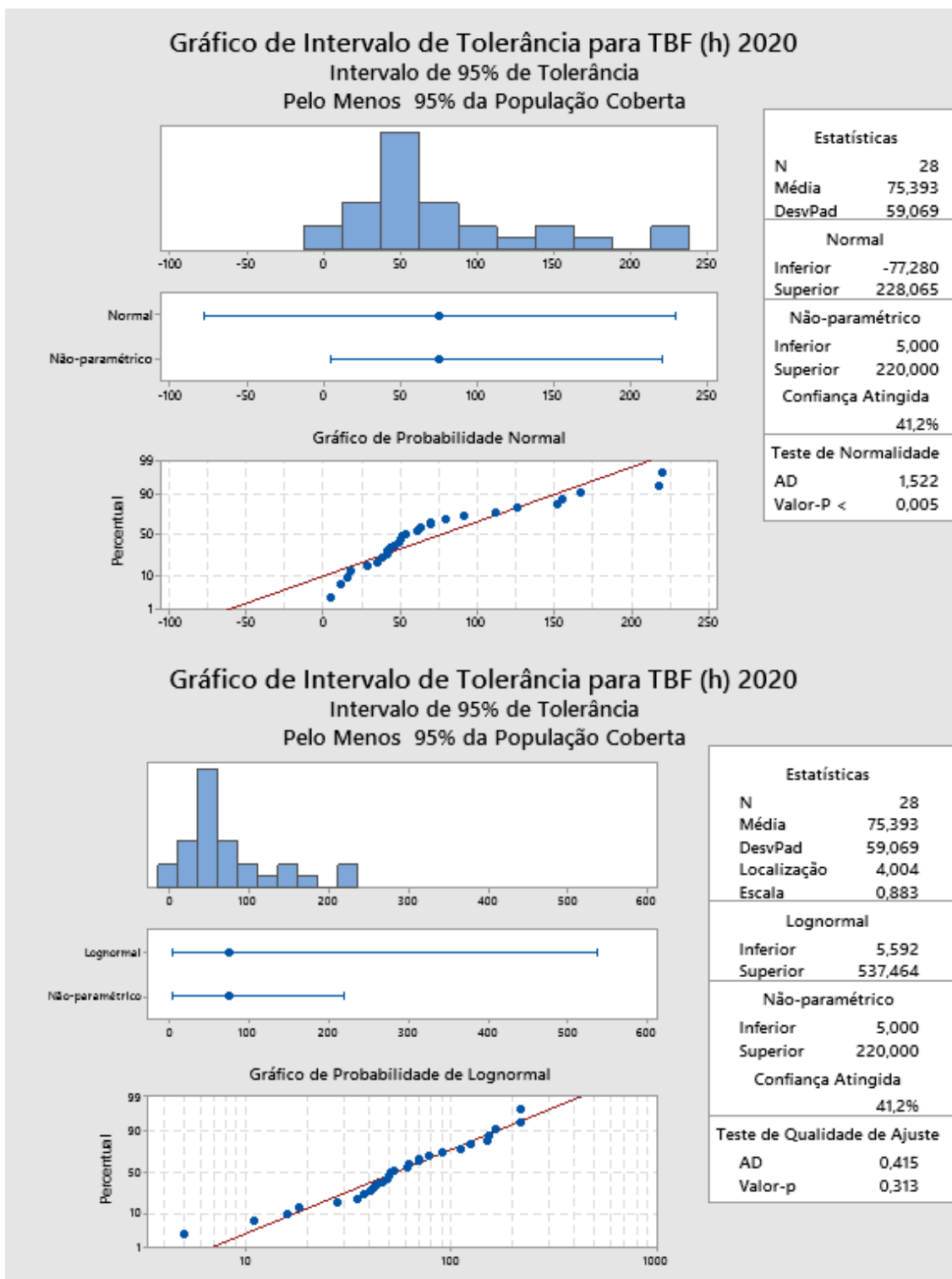


Figura 20: Análise dos TBF 2020 em escala normal e logarítmica.

Foi realizada a análise comparativa dos TTR de 2018, 2019 e 2020 em escalas normais e logarítmicas, conforme Figuras 21, 22 e 23:

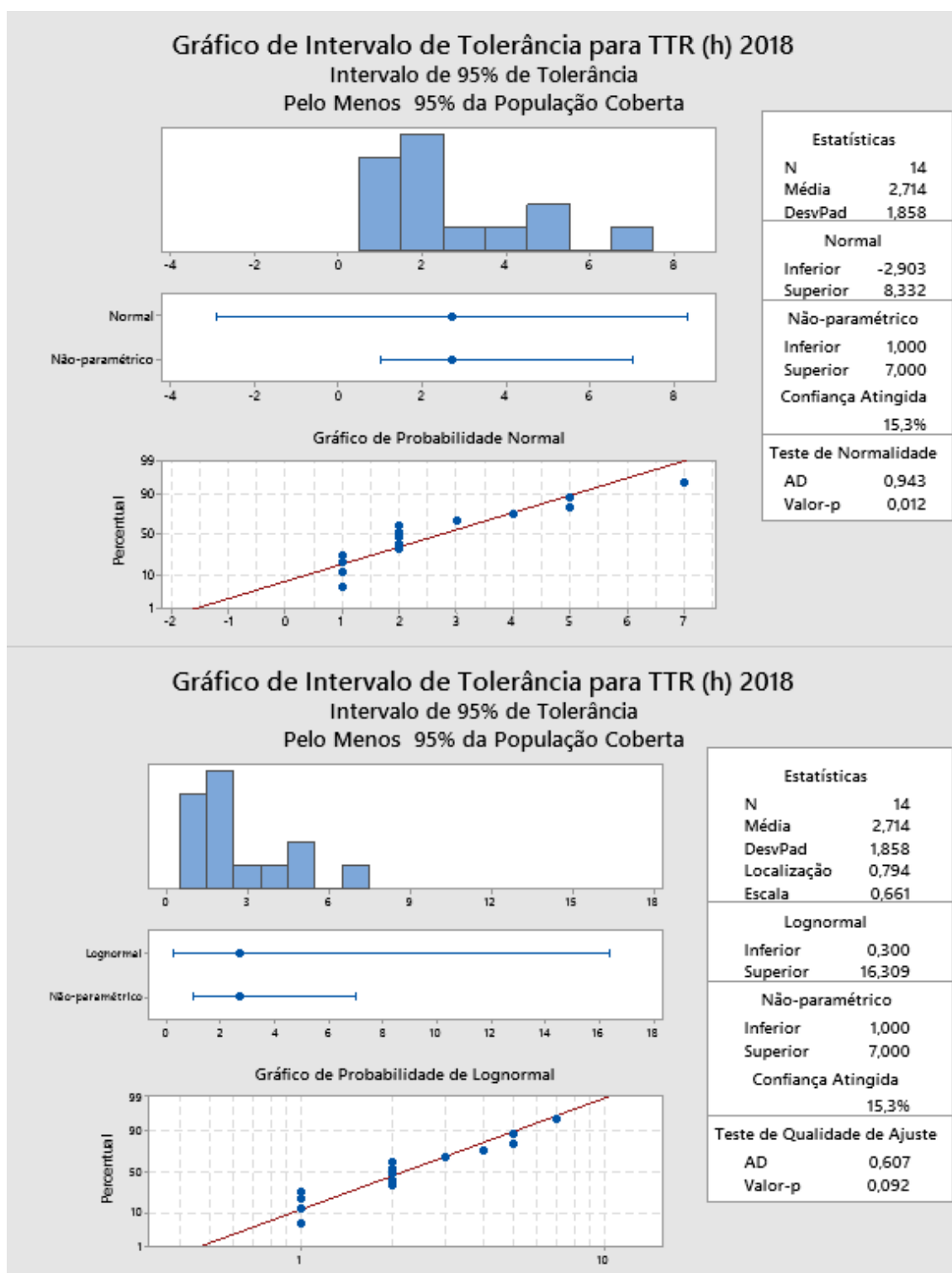


Figura 21: Análise dos TTR 2018 em escala normal e logarítmica.

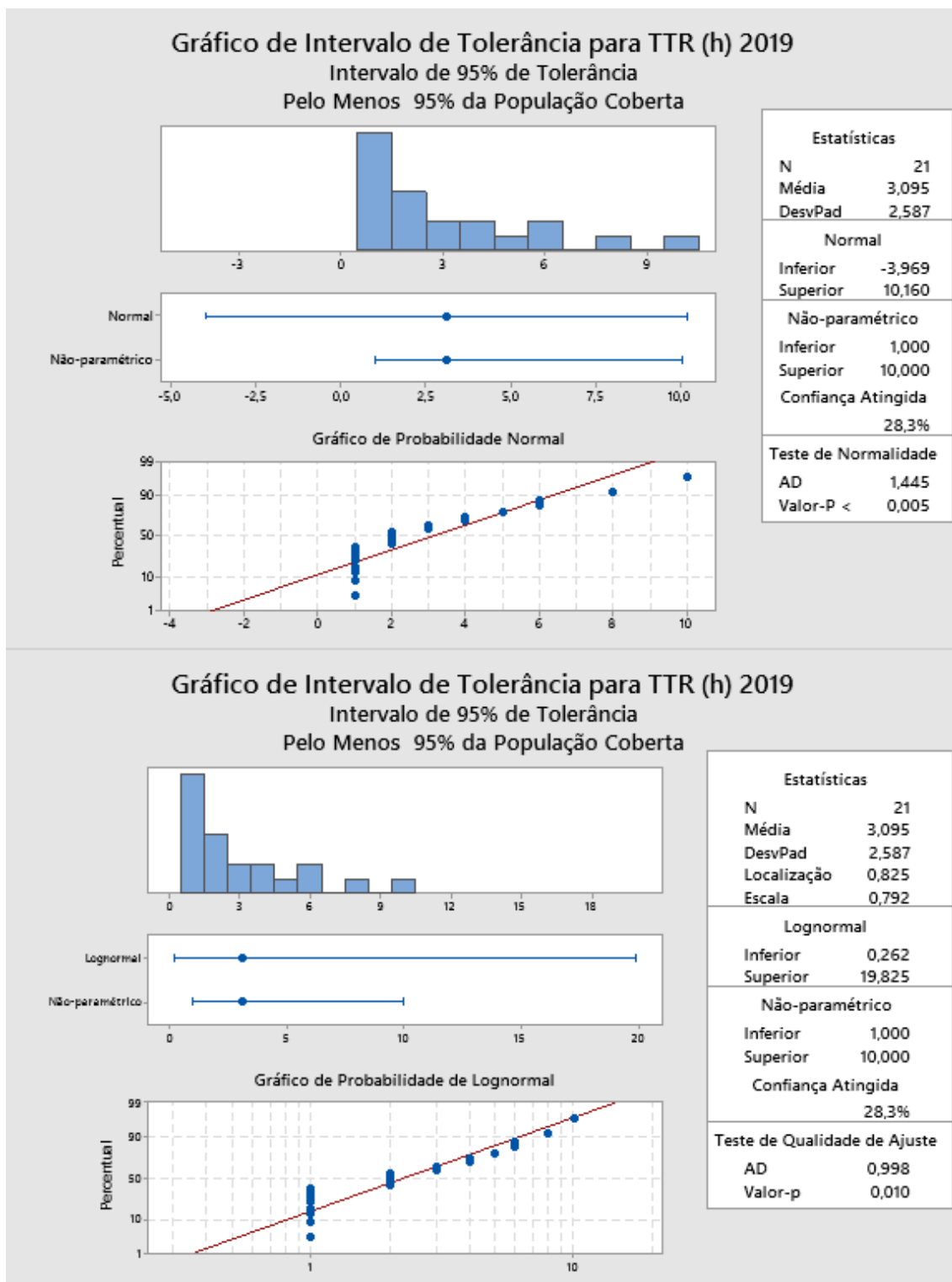


Figura 22: Análise dos TTR 2019 em escala normal e logarítmica.

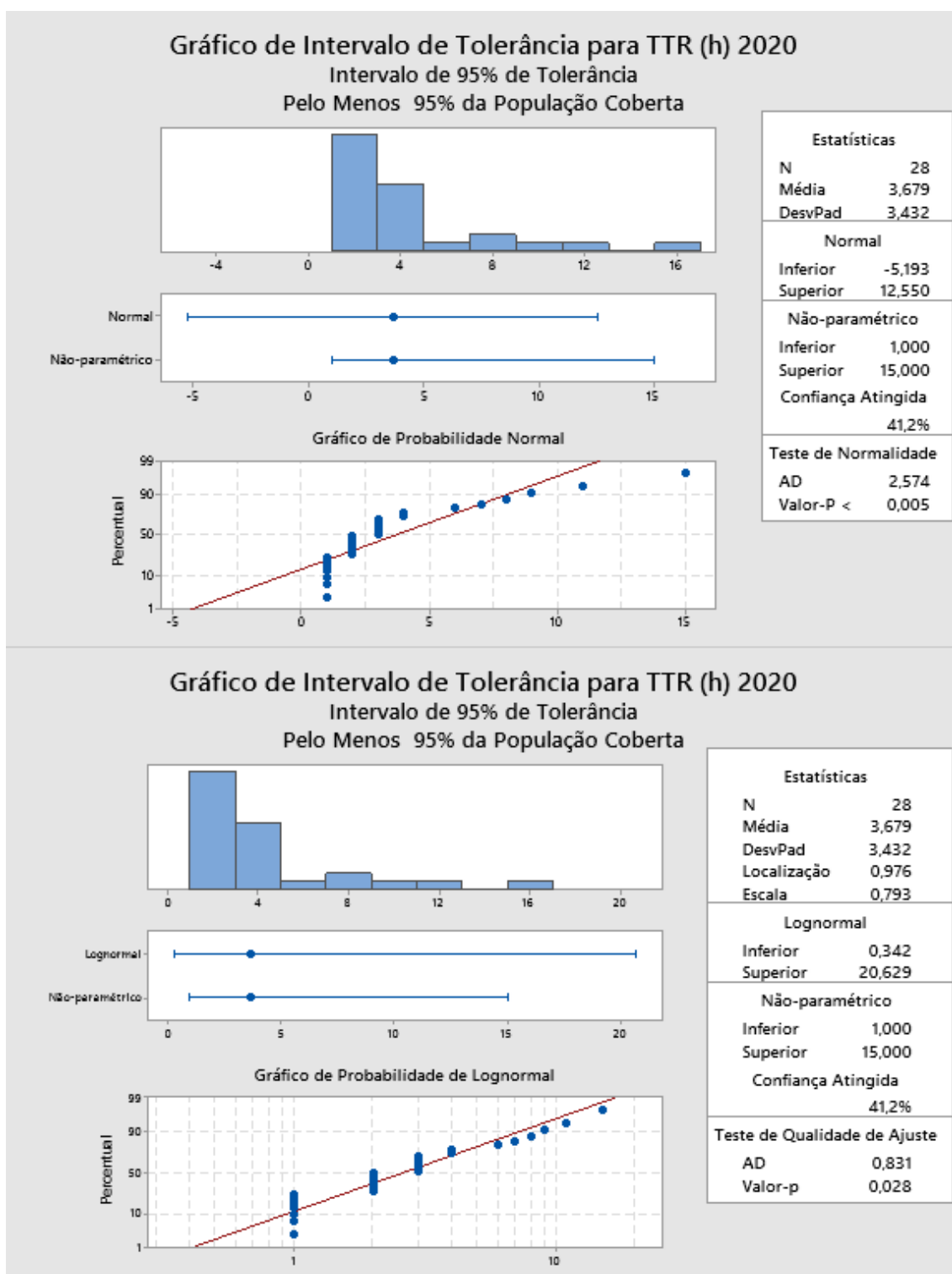


Figura 23: Análise dos TTR 2020 em escala normal e logarítmica.

Através do resultado dos *p-values*, é possível identificar que os dados quando dispostos em escala normal atingem resultados insatisfatórios, destacando-se TBF 2020 e TTR 2019 e 2020 com valores < 0,005. Entretanto quando dispostos em escala logarítmica, os valores de *p-value* apresentam-se mais elevados.

Portanto, para a continuidade do tratamento dos dados a seguir, será utilizada a escala logarítmica.

ANOVA

Realizou-se o teste ANOVA para comparar as médias de TBF e TTR dos três anos em escala logarítmica. As hipóteses, nula e alternativa, são estabelecidas:

H_0 – Não há diferença significativa.

H_1 – Há diferença significativa dos dados.

Conforme é mostrado na Tabela 15, para a análise dos dados de TBF em escala logarítmica, o *p-value* apresenta-se com valor inferior a 0,5, portanto deve-se rejeitar a hipótese nula. Isto significa que há variância significativa entre as médias de cada ano. Desta forma, é pertinente dizer que a performance da manutenção dos três anos pode ser analisada sob um enfoque de fiabilidade. Na Figura 24 é apresentado o gráfico de intervalos deste resultado.

Tabela 15 - Resultados do Modelo de ANOVA para LOG TBF

| Fonte | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|-------|----|----------|----------|---------|---------|
| Fator | 2 | 1,267 | 0,63345 | 6,83 | 0,002 |
| Erro | 60 | 5,562 | 0,09269 | | |
| Total | 62 | 6,829 | | | |

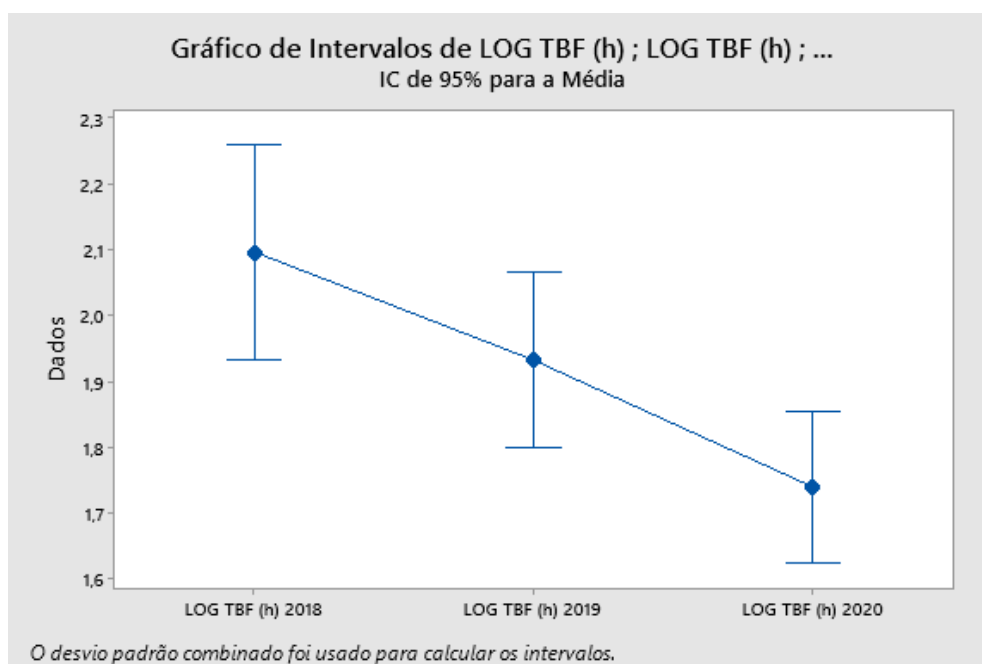


Figura 24: LOG TBF dos três anos estudados.

Na Tabela 16, onde os dados de TTR são analisados, o *p-value* apresenta-se com valor superior a 0,5, portanto a hipótese nula não deve ser rejeitada, sugerindo não haver evidências de diferenças significativas entre os anos analisados. Por isto, não são realizadas análises estatísticas complementares sob um enfoque de fiabilidade para os dados de TTR. Na Figura 25 é apresentado o gráfico de intervalos deste resultado.

Tabela 16 - Resultados do Modelo de ANOVA para LOG TTR

| Fonte | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|-------|----|----------|----------|---------|---------|
| Fator | 2 | 0,08035 | 0,04017 | 0,36 | 0,697 |
| Erro | 60 | 6,63927 | 0,11065 | | |
| Total | 62 | 6,71961 | | | |

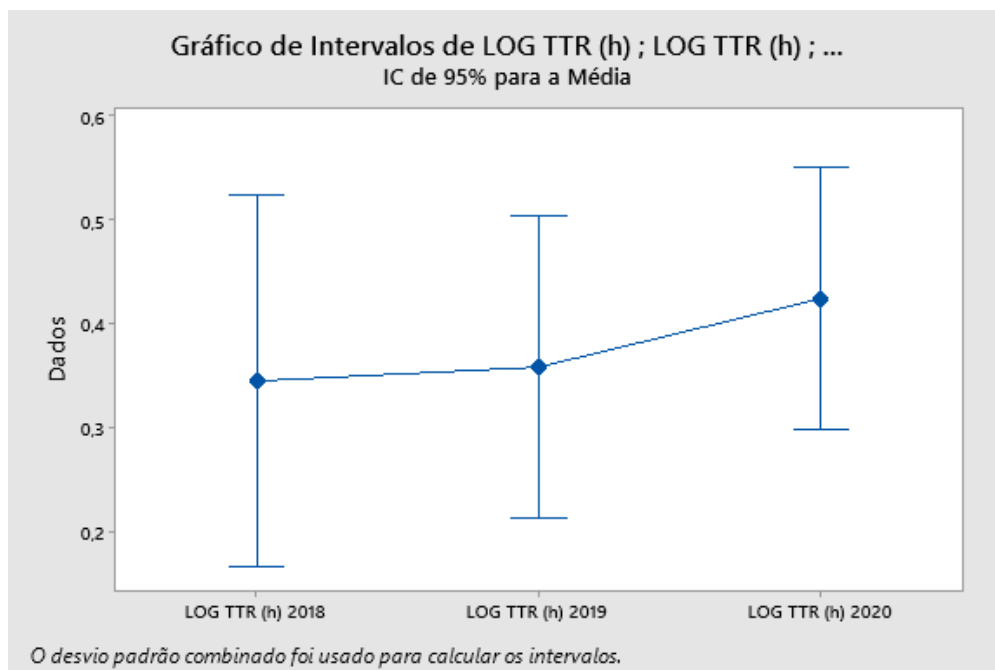


Figura 25: LOG TTR dos três anos estudados.

Análise Comparativa entre Diferentes Distribuições

Após ser sugerida a significância da variação dos dados de TBF entre os anos através do método ANOVA, também foi realizado o teste de Anderson-Darling para comparar duas possíveis distribuições para os dados estudados. São elas:

- i. Distribuição de Weibull;
- ii. Distribuição Exponencial.

A Figura 26 mostra que para os anos de 2018, 2019 e 2020, a distribuição de Weibull atingiu os valores de 1093, 1200 e 1525 respectivamente, enquanto com a distribuição Exponencial obteve-se 1635, 1764 e 3563 respectivamente.

Para efeitos comparativos das duas distribuições, percebe-se que a distribuição de Weibull atingiu valores inferiores, sendo o resultado mais favorável ao teste e uma melhor alternativa à disposição dos dados.

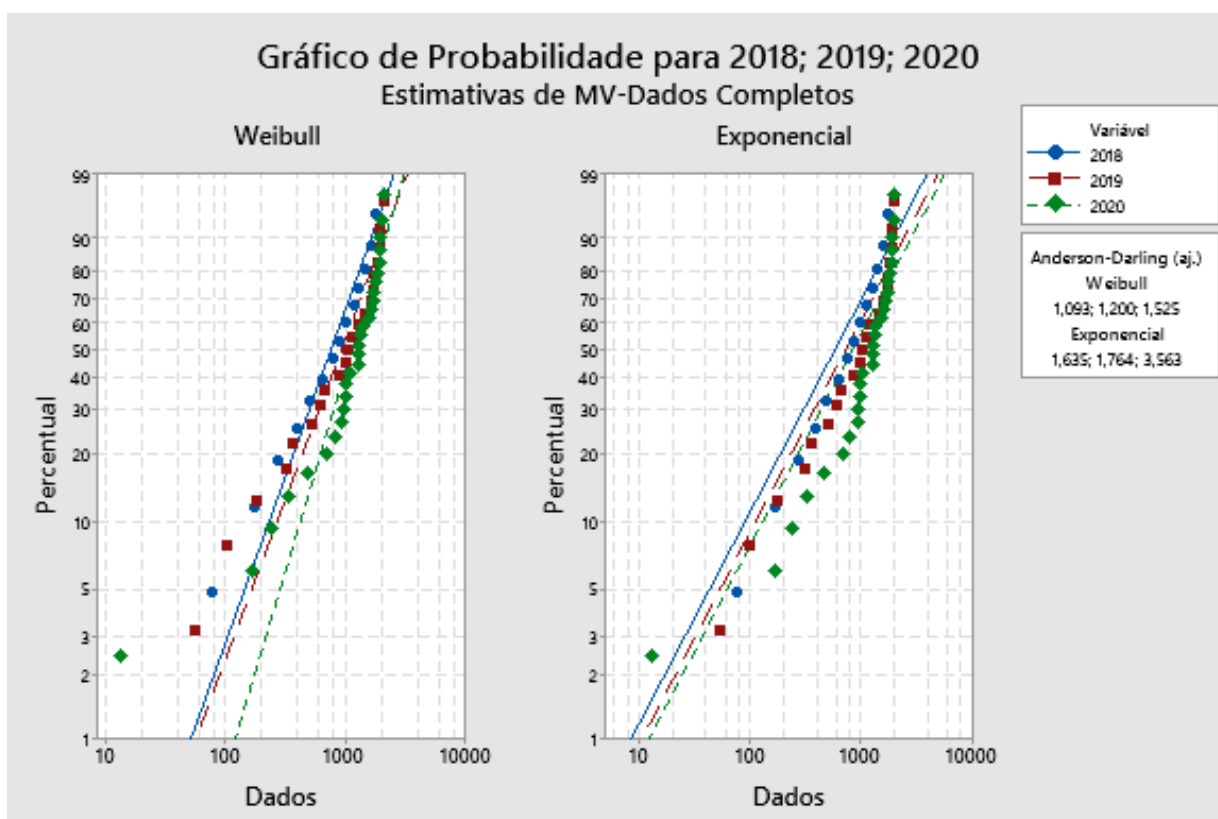


Figura 26: Análise Comparativa das Distribuições de Weibull e Exponencial através do Teste Anderson-Darling.

Parâmetros da Distribuição de Weibull

Com os dados seguindo a Distribuição de Weibull é possível estimar os parâmetros de Forma (β) e Escala (η) para cada ano através do método da Verossimilhança Máxima, conforme demonstrado pela Figura 27.

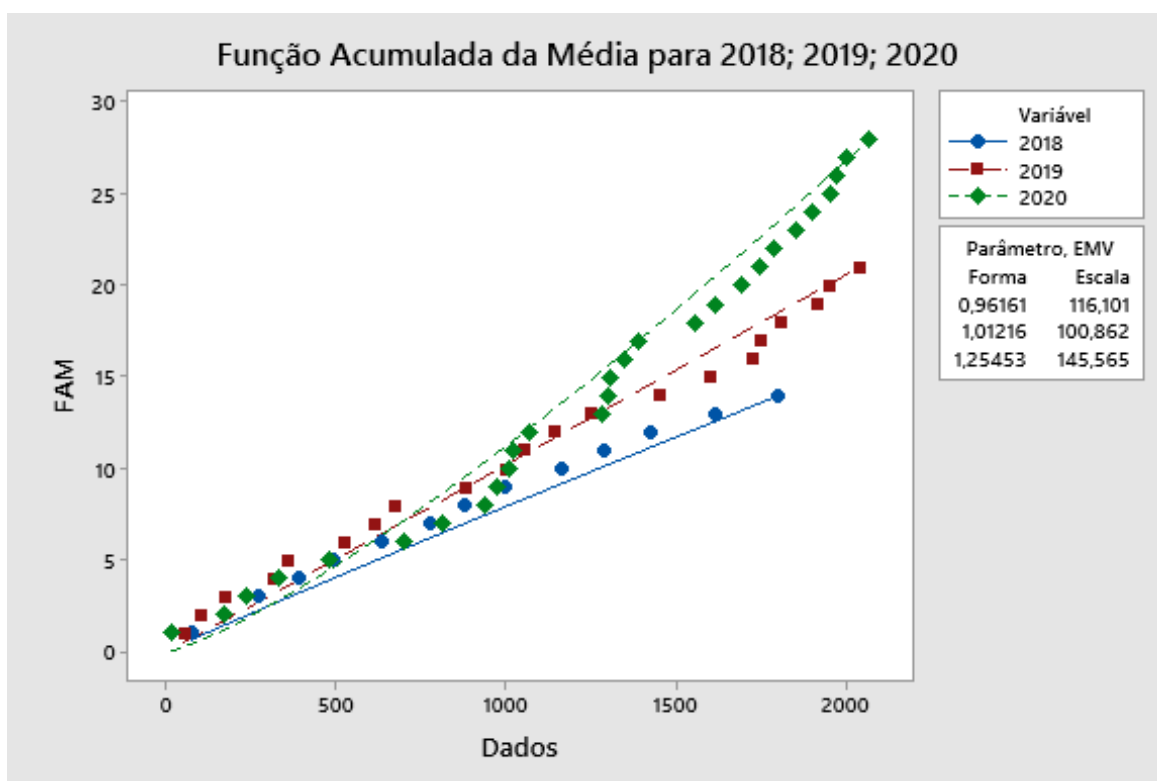


Figura 27: Previsão dos parâmetros de Weibull através do Método de Verossimilhança Máxima.

Feita esta análise, é possível caracterizar o comportamento do processo em cada ano através da curva da banheira (Figura 28). Em 2018 obteve-se um resultado de fator de forma de 0,96161, o que é traduzido em um período de mortalidade infantil, com taxa de falhas decrescente. Em 2019 este mesmo fator foi de 1,01216, o que é interpretado como o período de maturidade do processo. Neste período a taxa de falhas foi aleatória. Para 2020, o resultado de β apresentado foi de 1,25453, demonstrando que o processo atingiu o período de mortalidade senil (desgaste), com uma taxa de falhas crescente ao longo do tempo.

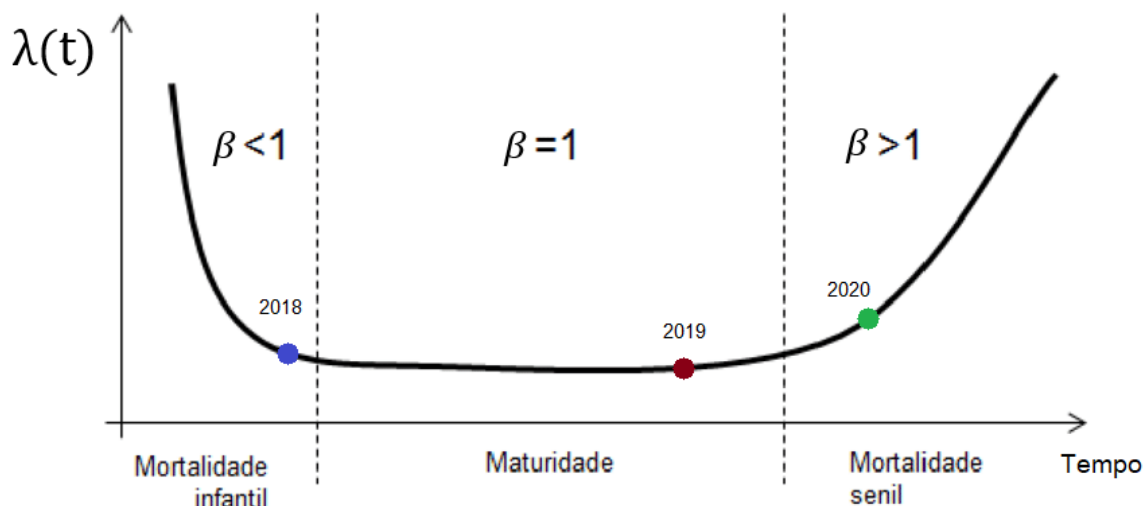


Figura 28: Caracterização dos dados pela Curva da Banheira.

4.2 Estratégias de Manutenção e Propostas de Melhorias

Após a análise feita através dos estudos de fiabilidade do sistema, identificou-se que a Linha de Oxidação a Negro alcançou seu período de falhas por desgaste, com uma taxa de falhas crescente. Por conta disso, tem-se como proposta a implementação de gestão RPM e TPM com atividades de manutenção planeadas atribuídas às funções do operador da Linha de Oxidação, a fim de impactar no indicador de disponibilidade do processo.

Na Tabela 17, foi estabelecida a relação de causa e efeito dos componentes do sistema a fim de detetar as possíveis falhas, identificar suas causas e as formas para a prevenção. Para isso, é utilizado a ferramenta de análise FMEA.

Através desta ferramenta de análise foi possível identificar os potenciais modos de falha de cada componente da Linha de Oxidação a Negro e seus respectivos índices de risco. Desta forma, pôde-se hierarquizá-los pelos impactos que oferecem ao sistema de produção, além de sugerir o tipo de manutenção adequado para os respectivos componentes através do Gráfico de Pareto (Figura 29) sobre o percentual acumulado dos índices de risco, conforme é mostrado na Tabela 18.

Tabela 17 - Análise FMEA para o processo de Oxidação a Negro estudado.

| Item | Componente | G | Efeito da Falha | O | Causa da Falha | D | Meio de Detecção | Índice do Risco |
|------|-----------------------------------|----|---|---|---|----|---|-----------------|
| 1 | Quadro Elétrico/ Automação | 10 | Linha de oxidação a negro desligada; | 1 | Falta de alimentação elétrica no quadro geral; | 1 | Verificar se outras secções estão com energia; | 10 |
| 2 | | 9 | Um ou mais componentes da linha de oxidação desligados; | 3 | Algum disjuntor desligado no quadro; | 3 | Inspeção visual dos componentes do quadro; | 81 |
| 3 | | | | 6 | Componente elétrico danificado pelo excesso de vapor dentro do quadro; | 5 | Verificação do estado do filtro de ar do quadro; | 270 |
| 4 | | | | 1 | Cabos ou contactos corroídos; | 6 | Verificação das caixas de passagens do cabeamento; | 54 |
| 5 | Ponte Rolante | 7 | Ponte realizar movimento involuntários e indesejados após acionamento dos comandos; | 8 | Falha nos contactos de acionamento do comando da ponte; | 5 | Verificar internamente o estado do comando da ponte; | 280 |
| 6 | | 6 | Ponte obedecer ao comando de forma intermitente; | 1 | Acumulo de sais químicos nos trilhos gerados pelo vapor | 7 | Inspeção visual do trilho da ponte; | 42 |
| 7 | Tanques e Sensores | 10 | O(s) tanque(s) não atinge(m) a temperatura ideal respectiva para a operação; | 3 | Aquecedores danificados | 2 | Verificação audiovisual e se há vibração dos aquecedores; | 60 |
| 8 | | | | 9 | Concentração insuficiente de produtos químicos insuficiente; | 1 | Verificação do termostato do tanque; | 90 |
| 9 | | 8 | Vazamento de líquidos; | 3 | Má vedação dos tanques; | 2 | Verificar se há poças abaixo dos tanques; | 48 |
| 10 | | 10 | Peças sujas ou não conformes após o banho | 6 | Excesso de impurezas nas soluções líquidas | 2 | Verificação do aspeto dos líquidos dos tanques e impurezas no fundo | 120 |
| 11 | | 4 | Temperatura exibida pelos sensores incoerente; | 2 | Sensores em mal estado ou mal posicionados; | 5 | Inspeção visual dos sensores e seus posicionamentos; | 40 |
| 12 | Sistema de Exaustão de Vapores | 7 | Ventiladores de sucção sem funcionar; | 2 | Motor do ventilador inoperante; | 7 | Inspeção audiovisual da sucção de ar; | 98 |
| 13 | | 4 | Falta de força na sucção dos vapores; | 5 | Acumulo de sais no filtro e no tanque do respirador; | 10 | Verificar o estado do filtro do tanque do respirador; | 200 |
| 14 | Sistema de Agitação Mecânica | 4 | Falta de agitação mecânica dos líquidos dos tanques; | 7 | Acumulo de impurezas no filtro do bombeamento de ar comprimido para os tanques; | 7 | Inspeção audiovisual do motor e filtro do bombeamento de ar comprimido para os tanques; | 196 |
| 15 | | 3 | Agitação mecânica dos líquidos fraca; | 9 | Saída dos tubos de injeção de ar comprimido do tanque da oxidação entupido de sais; | 6 | Verificação das saídas de injeção de ar comprimido do tanque de oxidação; | 162 |
| 16 | Sistema de Escoamento de Líquidos | 6 | Entupimento dos ralos da sala; | 6 | Excesso de sais no chão da sala e sobre os ralos; | 3 | Inspeção visual dos ralos; | 108 |
| 17 | | | | 4 | Tanque de descarte de líquidos em sua capacidade máxima; | 6 | Controlo do nível do tanque externo de descarte de líquidos; | 144 |
| 18 | | 2 | Entupimento do encanamento de saída dos tanques para os ralos; | 3 | Excesso de sais no encanamento de esgoto dos tanques; | 5 | Verificação do escoamento de líquidos dos tanques pelo encanamento; | 30 |

Tabela 18 - Hierarquização dos impactos das falhas e seus tipos manutenção adequadas.

| Item | Meio de Detecção | Índice do Risco | Risco Acumulado | Risco Percentual Acumulado | Manutenção Sugerida |
|------|--|-----------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 5 | Verificar internamente o estado do comando da ponte; | 280 | 280 | 13,8% | Preventiva sistemática |
| 3 | Verificação do estado do filtro de ar do quadro; | 270 | 550 | 27,1% | Preventiva sistemática |
| 13 | Verificar o estado do filtro do tanque do respirador; | 200 | 750 | 36,9% | Preventiva sistemática |
| 14 | Inspeção audiovisual do motor e filtro do bombeamento de ar comprimido para os tanques | 196 | 946 | 46,5% | Preventiva sistemática |
| 15 | Verificação das saídas de injeção de ar comprimido do tanque de oxidação; | 162 | 1108 | 54,5% | Preventiva sistemática |
| 17 | Controlo do nível do tanque externo de descarte de líquidos; | 144 | 1252 | 61,6% | Preventiva condicionada |
| 10 | Verificação do aspeto dos líquidos e impurezas no fundo dos tanques | 120 | 1372 | 67,5% | Preventiva condicionada |
| 16 | Inspeção visual dos ralos; | 108 | 1480 | 72,8% | Preventiva condicionada |
| 12 | Inspeção audiovisual da sucção de ar; | 98 | 1578 | 77,6% | Preventiva condicionada |
| 8 | Verificação do termostato do tanque; | 90 | 1668 | 82,0% | Preventiva condicionada |
| 2 | Inspeção visual dos componentes do quadro; | 81 | 1749 | 86,0% | Corretiva |
| 7 | Verificação audiovisual e se há vibração dos aquecedores; | 60 | 1809 | 89,0% | Corretiva |
| 4 | Verificação das caixas de passagens do cabeamento; | 54 | 1863 | 91,6% | Corretiva |
| 9 | Verificar se há poças abaixo dos tanques; | 48 | 1911 | 94,0% | Corretiva |
| 6 | Inspeção visual do trilho da ponte; | 42 | 1953 | 96,1% | Corretiva |
| 11 | Inspeção visual dos sensores e seus posicionamentos; | 40 | 1993 | 98,0% | Corretiva |
| 18 | Verificação do escoamento de líquidos dos tanques pelo encanamento; | 30 | 2023 | 99,5% | Corretiva |
| 1 | Verificar se outras secções estão com energia; | 10 | 2033 | 100,0% | Corretiva |

É sugerido que a empresa adote um plano de manutenção com diferentes atividades, sendo elas preventivas, preditivas e corretivas, para os componentes do sistema de acordo com o valor do índice de risco dos seus respectivos modos de falha.

Conclui-se que 10 possíveis modos de falha representam aproximadamente 80% do índice de risco total do processo, portanto é sugerido um planeamento de atividades de manutenção para estes componentes. Destes, existem 5 que sozinhos representam quase 55% do total e, por isso, é sugerida a manutenção preventiva sistemática. Para os 5 restantes, sugere-se atividades de manutenção preventiva condicionada.

Para os outros 8 modos de falha que representam 20% do índice total, sugere-se que sejam feitas manutenções de forma corretiva, após a ocorrência da falha.

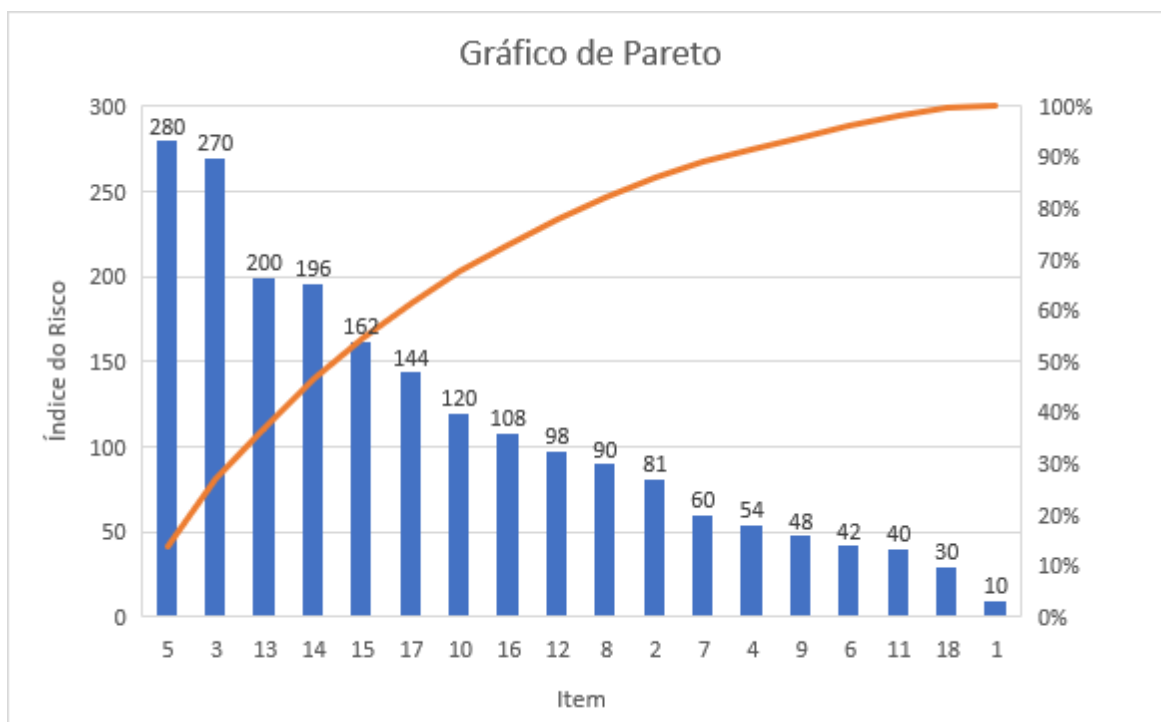


Figura 29: Diagrama de Pareto dos índices do risco dos modos de falha do processo de Oxidação a Negro.

Abaixo, propõe-se planos de ação para as atividades de manutenção planeada, sendo estes executados pelo operador do processo.

Nota: Para a preservação de segredos industriais, este trabalho irá se referir aos produtos químicos utilizados neste processo como "Produto X", "Produto Y" e "Produto Z".

Manutenções Preventivas Sistemáticas:

Atividade 1: Limpeza do comando da ponte rolante.

Descrição: O controlo, por estar em contacto direto com luvas sujas e vapor dos tanques, acaba por ter seu circuito de comando interno exposto com frequência à saís, o que degrada seus terminais de contactos. É recomendado levar a ponte até o seu fim de curso pois este é o melhor local para se exercer a atividade. A seguir, deve-se desligar toda a energia do quadro de alimentação, abrir o controlo retirando todos os parafusos da tampa, limpar o seu interior com um pano seco, pincel e/ou jato de ar.

Periodicidade: 3 meses.

Atividade 2: Substituição do filtro de ar do quadro elétrico.

Descrição: O quadro elétrico possui 2 ventiladores, um para entrada de ar e outro para a saída, possibilitando a circulação de ar. Contudo, o ar ambiente é carregado de sais químicos, o que sobrecarrega o trabalho do filtro do ventilador de entrada. A substituição do filtro deve ser feita de forma periódica, caso contrário pode haver dano a um componente elétrico que implique na indisponibilidade da linha de oxidação.

Periodicidade: 3 meses.

Atividade 3: Lavagem do filtro do respirador do sistema de exaustão.

Descrição: Este sistema é responsável pela sucção dos gases ambiente, onde há um processo de tratamento deste ar onde impurezas são retidas por filtros, liberando um ar limpo ao ambiente. Há dois filtros alocados em um tanque fechado à parafusos que fazem a retenção das impurezas. A atividade de manutenção deve ser feita por dois colaboradores em decorrência ao peso da tampa que deve ser removida para a limpeza. Os filtros devem sofrer um banho à jato d'água assim como toda a superfície do tanque.

Periodicidade: 6 meses.

Atividade 4: Limpeza ou substituição do filtro do bombeamento de ar comprimido dos tanques.

Descrição: Este sistema bombeia ar externo ao interior dos tanques, provocando uma agitação mecânica que melhora o desempenho do processo. A bomba responsável por esta ação fica no lado exterior da empresa e possui um filtro de ar para evitar a intrusão de materiais sólidos no encanamento. Este filtro deve ser limpo ou substituído em decorrência do acúmulo de impurezas provocado por fenômenos naturais e animais.

Periodicidade: 6 meses.

Atividade 5: Desobstrução do encanamento de saída de ar comprimido para o tanque de oxidação.

Descrição: Como este duto de ar fica no fundo do tanque, é comum que sais em forma de lama se estabeleçam em sua saída, podendo dificultar a passagem do ar comprimido. Com o tanque arrefecido e com volume abaixo do normal, deve-se desmontar a parte final do encanamento, retirando todos os parafusos, levar a uma área externa e lavar com jato de água. A seguir, montá-las ainda com o tanque arrefecido e ter atenção às presilhas.

Periodicidade: 6 meses.

Manutenções Preventivas Condiçionadas:

Atividade 6: Controlo e esvaziamento do reservatório subterrâneo descartados

Descrição: O ralo da sala da oxidação está diretamente ligado a um reservatório submerso ao chão na área externa da fábrica, portanto todo e qualquer material líquido que caia no chão da sala segue para lá. Deve-se manter um controlo sobre o nível deste tanque e o descarte dos líquidos deve ser feito através do bombeamento para outro recipiente que possa ser transportado.

Atividade 7: Renovação das soluções líquidas dos tanques.

Descrição: Conforme a utilização, os banhos vão se contaminando com resíduos deixados pelas peças, portanto é importante que periodicamente os tanques sejam esvaziados, tenham suas superfícies limpas totalmente e suas soluções líquidas renovadas.

Oxidação: Recomenda-se transferir a solução para um recipiente transportável. Para um novo banho e considerando o volume do tanque com 100 cm x 80 cm x 80 cm, deve-se encher 60 cm de água, despejar 490 kg de Produto Z, misturar, completar o tanque com água até chegar aos 80 cm de altura. Em seguida ligar a agitação mecânica por 30 minutos.

Desengordurante: Recomenda-se transferir a solução para um recipiente transportável. Considerando o volume do tanque com 100cm x 80cm x 80cm, um novo banho deve ser preparado com 70 cm de água e 27 kg de Produto X, em seguida ligar a agitação mecânica por 10 minutos.

Decapagem: Recomenda-se transferir a solução para um recipiente transportável. Considerando as dimensões do tanque em 60 cm x 80 cm x 80 cm, um novo banho deve ser preparado com 52 cm de água, 180 kg de Produto Y e 17 L de Produto W. Em seguida ligar a agitação mecânica por 10 minutos.

Lavagem: Recomenda-se transferir a água contaminada dos tanques de lavagem para um recipiente transportável e enchê-los novamente com água da torneira.

Atividade 8: Limpeza do chão e dos ralos da sala de oxidação

Descrição: Existem duas zonas dentro da sala da oxidação que requerem atenções diferentes, estas são divididas pelo ralo que corre pela sala. É definido como zona 1 entre a porta de entrada até o ralo, ou seja, toda a área onde o operador tem acesso

normalmente. É definido como zona 2 a parte posterior ao ralo, onde o operador só tem acesso abaixado.

Zona 1: Pela naturalidade do processo, o chão entre o último tanque e o local de arrefecimento com óleo acaba-se por sujar com certa constância. O próprio andar do operador e do carrinho de transporte das peças espalha a sujeira pela sala e para o restante da fábrica, além do local se tornar uma zona perigosa e escorregadia. Por conta disso, é regra deixar este ambiente o mais limpo possível.

Zona 2: Por conta de eventuais derramamentos no chão do tanque da oxidação e sua lavagem, deve-se sempre limpar os restos de sais que lá estão. O ambiente fica mais limpo e acessível.

Atividade 9: Inspeção audiovisual do terminal de exaustão.

Descrição: É de extrema necessidade que o sistema de exaustão da sala esteja em funcionamento pleno, pois sem ele não há condições salubres para que o empregado exerça suas atividades. A inspeção deve ser feita de forma a verificar se o exaustor está com sua potência necessária e suficiente e se há fuga dos vapores do tanque da oxidação.

Atividade 10: Controle da temperatura da oxidação por adição de sais químicos.

Descrição: A água do tanque da oxidação, por estar a uma temperatura muito alta, sofre ebulição e com isso os sais perdem seu percentual de concentração ideal, sendo necessária uma adição para se manter a qualidade do processo. Quando a temperatura máxima do tanque não ultrapassar os 142°C e a altura estiver abaixo dos 70 cm, deve-se ao fim do dia despejar um saco de 25 kg do produto Z. A altura ideal da solução no tanque é entre 70 e 80 cm para comportar peças maiores. Também não é recomendado que o líquido fique acima dos 80 cm, pois com a agitação mecânica pode haver ejeção de líquidos.

4.3 Avaliação do Risco nas Atividades de Manutenção

O novo plano de manutenção proposto por este trabalho apresenta 10 atividades planejadas. Como toda e qualquer ação que envolve o processo de oxidação a negro oferece risco a integridade física de um colaborador, é essencial identificar o grau de risco dessas atividades de manutenção.

Será apresentada a análise de risco de todas as atividades através da aplicação do método MARS. Para isto, foram identificados os perigos e danos que o colaborador está sujeito a sofrer a exercer cada atividade e atribuiu-se pesos para seus níveis de exposição (NE),

níveis de deficiência (ND) e níveis de consequências (NC). O nível de probabilidade (NP) é tido pela multiplicação de NE e ND. O objetivo é propor ações de controle e propostas para prevenção de cada situação.

Atividade 1: Limpeza do comando da ponte rolante.

Tabela 19: Análise do risco da atividade 1.

| Perigos | Risco | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|---|---|----|----|----|----|-----|----|--|
| Exposição a um circuito elétrico energizado | Choque Elétrico | 6 | 3 | 18 | 25 | 450 | 2 | - Desligar o disjuntor geral do quadro de energia antes da realização da atividade, - Utilização de botas de isolamento elétrico. |
| Exposição do corpo à sais químicos ressecados na superfície do comando | Irritação cutânea aos dedos | 6 | 2 | 12 | 10 | 120 | 3 | - Utilização de luvas e do fato de proteção corporal. |
| Proximidade à componentes perigosos | Pancada contra materiais | 2 | 1 | 2 | 25 | 50 | 3 | - A ponte rolante deve ser levada ao seu fim de curso a fim de que o comando esteja a uma altura ergonómica para a realização da tarefa, mantendo distância dos tanques. |
| Ambiente Insalubre | Intoxicação pelo olfato e irritação nos olhos | 6 | 3 | 18 | 10 | 180 | 2 | - Utilização de proteção visual e máscara de respiração com filtro. |
| Pancada involuntária sobre material que possa estar a ser transportado pela ponte rolante | Pancada contra materiais | 2 | 1 | 2 | 60 | 120 | 3 | - A atividade não deve ser realizada enquanto a ponte estiver a levantar algum material. |

Atividade 2: Substituição do filtro de ar do quadro elétrico.

Tabela 20: Análise do risco da atividade 2.

| Perigos | Risco | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|--|-----------------|----|----|----|-----|-----|----|---|
| Contacto com componente elétrico energizado do quadro elétrico | Choque Elétrico | 2 | 1 | 2 | 100 | 200 | 2 | - Desligar o disjuntor geral do quadro de energia antes da realização da atividade. |

Atividade 3: Lavagem do filtro do respirador do sistema de exaustão.

Tabela 21: Análise do risco da atividade 3.

| Perigos | Risco | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|--|---|----|----|----|----|-----|----|---|
| Exposição do corpo aos sais químicos contaminadas do interior do tanque de armazenamento dos resíduos | Irritação e queimaduras na pele | 6 | 3 | 24 | 25 | 600 | 1 | - O colaborador deve utilizar o fato completo de proteção, botinas de borracha com cano longo, luvas de borracha, máscara de respiração com filtro e proteção facial; |
| Esforço físico para retirada da tampa de acesso ao filtro | Contusão física | 2 | 1 | 10 | 10 | 100 | 3 | - Auxílio de um segundo colaborador para retirada da tampa. |
| Ambiente insalubre do tanque de armazenamento de resíduos | Intoxicação pelo olfato e irritação nos olhos | 6 | 2 | 12 | 25 | 300 | 2 | - Utilização de proteção visual e máscara de respiração com filtro. |
| Difícil acesso para limpeza no interior do tanque de armazenamento de resíduos, pelo seu espaço reduzido | Pancada contra um componente | 1 | 2 | 2 | 10 | 20 | 4 | - Não realizar movimentos bruscos. |

Atividade 4: Limpeza ou substituição do filtro do bombeamento de ar dos tanques.

Tabela 22: Análise do risco da atividade 4.

| Perigos | Risco | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|---|--|----|----|----|----|-----|----|--|
| O filtro a ser limpo ou substituído encontra-se a 3 metros de altura. É necessário que o colaborador utilize uma escada no local. | Perda da estabilidade, queda do colaborador ou de material | 2 | 4 | 8 | 60 | 480 | 2 | <ul style="list-style-type: none"> - A escada a ser utilizada deve ser inspecionada e posicionada de forma estável à parede; - Um segundo colaborador deve estar abaixo a segurá-las firmemente com as mãos; - Utilização de um capacete de proteção para ambos os colaboradores. |

Atividade 5: Desobstrução encanamento de saída de ar comprimido para o tanque de oxidação.

Tabela 23: Análise do risco da atividade 5.

| Perigos | Risco | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|---|----------------------------------|----|----|----|----|------|----|--|
| Contacto com a pele de sais químicos expostos nas superfícies dos objetos manuseados | Irritação à pele e danos à visão | 10 | 3 | 30 | 25 | 750 | 1 | - O colaborador deve utilizar o fato completo de proteção, botinas de borracha com cano longo, luvas de borracha, máscara de respiração com filtro e proteção facial; |
| Contacto de fluidos à alta temperatura com a pele através de ejeção de pingos para fora do tanque | Queimaduras na pele | 10 | 4 | 40 | 60 | 2400 | 1 | - A tarefa só pode ser executada com o tanque arrefecido; - O colaborador deve utilizar o fato completo de proteção, botinas de borracha com cano longo, luvas de borracha, máscara de respiração com filtro e proteção facial; |
| Ambiente Insalubre | Intoxicação pelo olfato | 6 | 4 | 24 | 60 | 1440 | 1 | - Utilização de máscara de respiração com filtros. |
| Exposição do corpo aos sais contaminados durante a limpeza exclusiva do duto | Irritação à pele e danos à visão | 6 | 2 | 12 | 25 | 720 | 2 | - Execução do trabalho em área exterior; - O colaborador deve utilizar o fato completo de proteção, botinas de borracha com cano longo, luvas descartáveis, máscara de respiração com filtro e proteção facial; |

Atividade 6: Controlo e esvaziamento do reservatório subterrâneo descartados

Tabela 24: Análise do risco da atividade 6.

| Perigos | Dano | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|--|----------------------|----|----|----|----|-----|----|--|
| Alta profundidade do tanque no subsolo, após a abertura do alçapão | Queda do colaborador | 2 | 3 | 6 | 60 | 360 | 2 | - Vistoria prévia das condições dos pontos onde o colaborador se apoia; - Um 2º colaborador deve acompanhar a ação. |

Atividade 7: Renovação das soluções líquidas dos tanques.

Tabela 25: Análise do risco da atividade 7.

| Perigos | Risco | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|--|--|----|----|----|----|------|----|---|
| Ejeção de fluidos a elevada pressão por vazamento na bomba | Contacto de fluidos contaminados com a pele e os olhos | 6 | 2 | 12 | 60 | 720 | 1 | <ul style="list-style-type: none"> - Vistoria das condições da bomba e seus conectores; - Deve-se estar atento ao desempenho da bomba. O trabalho deve ser interrompido a qualquer suspeita de vazamento desligando a bomba; - O colaborador deve utilizar o fato completo de proteção, botinas de borracha com cano longo, luvas de borracha, máscara de respiração com filtro e proteção facial; |
| Difícil acesso ao interior dos tanques para limpeza | Contusões físicas | 1 | 4 | 4 | 10 | 40 | 3 | <ul style="list-style-type: none"> - Deve ser utilizado um pequeno escadote para entrar e sair dos tanques, - Não realizar movimentos bruscos. |
| Ejeção de poeira de sais ao abrir os sacos que armazenam os sais químicos | Queimaduras no rosto e lesão nos olhos | 6 | 3 | 18 | 25 | 450 | 2 | <ul style="list-style-type: none"> - O colaborador deve sempre manter o rosto afastado do saco; - Utilização de proteção visual e máscara de respiração com filtro. |
| Contacto dos sais químicos com a pele e olhos ao inseri-los em seus respetivos tanques | Queimaduras e irritações à pele | 10 | 4 | 40 | 60 | 2400 | 1 | <ul style="list-style-type: none"> - Deve-se manter a menor distancia possível entre o saco e o fluido na hora do despejo para se evitar respingos; -A atividade deve ser executada com o tanque a uma baixa temperatura; - O colaborador deve utilizar o fato completo de proteção, botinas de borracha com cano longo, luvas de borracha, máscara de respiração com filtro e proteção facial; |

Atividade 8: Limpeza do chão e dos ralos da sala de oxidação

Tabela 26: Análise do risco da atividade 8.

| Perigos | Risco | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|--|---|----|----|----|----|-----|----|--|
| Chão molhado e escorregadio | Escorregamento e queda do colaborador | 2 | 2 | 4 | 25 | 100 | 3 | - Utilização do fato de proteção corporal, botas de cano longo antiderrapantes e luvas descartáveis; - O colaborador não deve correr pela sala. |
| Ambiente insalubre | Intoxicação pelo olfato e irritação nos olhos | 6 | 3 | 18 | 25 | 450 | 2 | - Utilização de proteção visual e máscara de respiração com filtro. |
| Necessidade da atuação do colaborador em lugares estreitos, com altura abaixo de 1 metro | Pancada contra a estrutura | 1 | 2 | 2 | 10 | 20 | 4 | Utilização de capacetes de proteção; |

Atividade 9: Inspeção audiovisual do terminal de exaustão.

Tabela 27: Análise do risco da atividade 9.

| Perigos | Risco | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|--------------------|---|----|----|----|----|-----|----|---|
| Ambiente insalubre | Intoxicação pelo olfato e irritação nos olhos | 6 | 3 | 18 | 25 | 450 | 2 | - Utilização de proteção visual e máscara de respiração com filtro. |

Atividade 10: Controlo da temperatura da oxidação por adição de sais químicos.

Tabela 28: Análise do risco da atividade 10.

| Perigos | Risco | ND | NE | NP | NC | NR | NI | Ações de Controlo e Propostas |
|--|--|----|----|----|----|------|----|--|
| Ejeção de poeira de sais ao abrir os sacos que armazenam os sais químicos | Queimaduras no rosto e lesão nos olhos | 6 | 3 | 18 | 25 | 450 | 2 | <ul style="list-style-type: none"> - O colaborador deve sempre manter o rosto afastado do saco; - Utilização de proteção visual e máscara de respiração com filtro. |
| Contacto dos sais químicos com a pele e olhos ao inseri-los em seus respetivos tanques | Queimaduras e irritações à pele | 10 | 4 | 40 | 60 | 2400 | 1 | <ul style="list-style-type: none"> - Deve-se manter a menor distancia possível entre o saco e o fluido na hora do despejo para se evitar respingos; -A atividade deve ser executada com o tanque a uma baixa temperatura; - O colaborador deve utilizar o fato completo de proteção, botinas de borracha com cano longo, luvas de borracha, máscara de respiração com filtro e proteção facial; |

5 CONCLUSÃO

O propósito deste trabalho foi abordar o assunto gestão da manutenção e sua importância estratégica para melhoria da eficiência de um processo industrial, demonstrando seus conceitos já consolidadas, como o RCM e o TPM, e ferramentas, como a análise FMEA. Para além disso, fica compreendido que os temas estudo de falhas e análise de risco são imprescindíveis para ter o sucesso desejado com um aumento de eficiência de um sistema.

No caso de estudo foi apresentado o processo de Oxidação a Negro da empresa Cumsa Tech, localizada no conselho da Marinha Grande-PT, onde o revestimento superficial de materiais metálicos é feito em duas vertentes: produtos de fabrico interno e produtos enviados de clientes para sofrerem o tratamento. O estudo justificou-se pela percepção do crescente pedido de reparações e substituições de componentes, o que gera interrupções no processo e atraso na produção.

5.1 Conclusões dos Trabalhos

Primeiramente fez-se a descrição dos componentes do processo e a recolha de dados de registos de interrupções, gerando valores de TBF e TTR dos anos de 2018 a 2020. Para validação estatística desses dados, foi feita uma análise comparativa destas distribuições em escala normal e logarítmica, onde verificou-se uma melhor disposição dos dados na escala logarítmica.

A seguir, concluiu-se através do método ANOVA que os dados de TTR não variavam significativamente através dos anos, ao contrário dos dados de TBF onde tiveram um resultado de p-value de 0,697. Portanto, somente para os TBFs foi possível realizar análises estatísticas complementares sob um enfoque de fiabilidade.

Posteriormente, através do teste de Anderson-Darling, foi feita a análise comparativa dos dados de TBF em Distribuição Exponencial e de Weibull, sendo esta última a que se obteve o melhor resultado, sendo a mais adequada para a disposição dos dados.

Com os dados seguindo a Distribuição de Weibull foi possível estimar os parâmetros de Forma (β) e Escala (η) de cada ano através do método da Verossimilhança Máxima. Demonstrou-se que no ano de 2018 o fator de forma esteve > 1 o que traduz um período de mortalidade infantil, com taxa de falhas decrescente. Em 2019 o fator de forma foi

igual a 1, com taxas de falhas constantes, o que resume um período de maturidade do processo. Já em 2020 o fator de forma foi > 1 , o que demonstra a entrada em um período de mortalidade senil do processo de oxidação, com taxas de falhas crescentes. Concluiu-se que ao longo de sua vida o processo passou pelos três estágios da curva da banheira e hoje vive um período de desgaste.

Por conta desta análise, a proposta de melhoria deste trabalho foi uma nova estratégia de manutenção incluindo ações planejadas a fim de reduzir as falhas e interrupções do sistema. Através da ferramenta FMEA foi possível identificar os possíveis modos de falha do processo e hierarquizá-los pela sua criticidade. Com base na análise de Pareto, concluiu-se que 10 possíveis modos de falha representam aproximadamente 80% do índice de risco total do processo, portanto foi sugerido um planejamento de atividades de manutenção para estes componentes. Destes, existem 5 que sozinhos representam quase 55% do total e, por isso, foi sugerida a manutenção preventiva sistemática. Para os 5 restantes, sugeriu-se atividades de manutenção preventiva condicionada.

Como a Oxidação a Negro, por sua natureza, é um processo que oferece risco ao colaborador, mostrou-se necessário também identificar os possíveis riscos associados às atividades planejadas de manutenção. Estas análises foram realizadas através do Método de Avaliação Simplificado, onde foi possível identificar nível e grau dos riscos envolvidos e propor métodos para que estes sejam mitigados. Com isto, percebeu-se que as atividades 3, 5, 7 e 10 são as que devem-se ter mais atenção na hora de sua execução.

Assim com este trabalho mostrou-se que, de facto, a estratégia de manutenção aplicada pode ter um impacto direto na eficiência de um processo industrial. Com as propostas apresentadas, espera-se diminuir a probabilidade de avaria dos equipamentos e dos acidentes de trabalho, associadas às manutenções planejadas.

5.2 Propostas para Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros são elencados um conjunto de possibilidades que podem vir a ser estudados, nomeadamente:

- Análise de custos de manutenção, relacionando substituição dos componentes, valor homem/hora e custo de “máquina parada”;
- Estudo sobre a manutenibilidade dos equipamentos, com propostas de atividades de manutenção lean que reduzam os TTR;

- Implementação de um sistema informático de gestão da manutenção, gestão de ativos e com diagnósticos em tempo real;
- Expandir as técnicas utilizadas para outras secções da empresa, como o centro de maquinaria e corte vertical;

Bibliografia

- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). **Total Productive Maintenance: Literature review and directions**. International Journal of Quality and Reliability Management.
- Almeida, M. T. (2000). **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá.
- APMI (2009). Norma Portuguesa - NP EN 15341:2009 – **Indicadores de Desempenho da Manutenção (KPI)**. Caparica: IPQ - Instituto Português da Qualidade.
- Assis, R. (1997) **Manutenção centrada na confiabilidade – Economia das decisões**, Lidel, Edições Técnicas, Lisboa.
- Badía, F.G. et al. (2002) **Optimal inspection and preventive maintenance of units with revealed and unrevealed failures**. Reliability Engineering System Safety, Londres.
- Ben-Daya, M.; Raouf, A. (1996) **A revised failure mode and effects analysis model**. Internacional Journal of Quality & Reliability Management, v.13, n.1.
- Bertsche, B; Muller, P, Pickard, K, (2005). **Multiple failure mode and effects analysis – An approach to risk assessment of multiple failures with FMEA**. In: Annual Reliability and Maintainability Symposium. Alemanha.
- Billinton, R.; Allan, R. N. (1992). **Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques**. 2ª ed.
- Cabral, J. P. S. (2006). **Organização e Gestão da Manutenção**. (6ª ed.). Lisboa: Lidel – Edições Técnicas
- Cavalcante, C. A. V.; Almeida, A. T. (2005) **Modelo multicritério de apoio a decisão para o planeamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza**. Pesquisa Operacional, v. 25, n. 2.
- Coelho, J. A. (2008). **Implementação da Total Productive Maintenance (TPM) numa Empresa de Produção**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
- Corrêa, R. F., & Dias, A. (2014). **Desenvolvimento de uma metodologia para manutenção preventiva (Dissertação de mestrado)**. Programa de Pós-

graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Durrferit (2013). **Catálogo de Produtos**. Durrferit do Brasil Química LTDA. Diadema – São Paulo.

Federal Standard 1037C (1996), **Glossário de Termos de Telecomunicações**. Instituto de Ciências das Telecomunicações

Ferreira & Patino (2015) **O que é o p-value?** Jornal Brasileiro de Pneumologia set-out; 41(5): 485.

Freitas, L. (2016), **Segurança e Saúde do Trabalho**, 3ª Edição, Edições Silabo;

Gadd, S., Deborah, K., & Balmforth, H. (2003). **Good practice and pitfalls in risk assessment**. Sheffield, UK: Health & Safety Executive.

Hager, C.; Evans, R. (2015). **Friction and wear properties of black oxide surfaces in rolling/sliding contacts**. The Timken Company Classic, North Canton, OH 44720, USA.

Kardec, A.; Nascif, J. (2009) **Manutenção: função estratégica**. 4ª. Edição. Rio de Janeiro: Qualitymark.

Kirchsteiger, C. (1999) **On The Use of Probabilistic and Deterministic Methods in Risk Analysis**. In Journal of Loss Prevention in the Process Industries.

Koivisto, R., Wessberg, N., Eerola, A., Ahlqvist, T., Kivisaari, S., Millyoja, J., & Halonen, M. (2009). **Integrating future-oriented technology analysis and risk assessment methodologies**. Technological Forecasting and Social Change.

Lafraia, J. R. B. (2001) **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymak.

Lougeni, F. P. ; Martins, P. G. (2002). **Administração de produção**. São Paulo: Editora Saraiva.

Mahahan, et. All. (2018). **Total Productive Maintenance to Improve Overall Equipment**. Global Journal of Researches in Engineering.

Melo, C. H. et al. (2002). **Avaliação de riscos para priorização do plano de segurança**. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2002, Niterói. Anais. Niterói: RJ.

- Milazzo, M. F., Aven, T. (2012). **"An extended risk assessment approach for chemical plants applied to a study related to pipe ruptures."** Reliability Engineering & System Safety . Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.ress.2011.12.001> (Acedido em 05/06/2021).
- Monchy, François. (1987) **A Função Manutenção**. Editora Ebras Durban - São Paulo
- Montgomery, DC; Runger, GC. (2012). **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC Editora (5ª Edição).
- Moraes, P.H.A. (2004) **Manutenção Produtiva Total: estudo de caso em uma empresa automobilística**. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) – Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté.
- Morais, V.O. (1993). **TPM - Manutenção Produtiva Total - aplicação prática na refinaria da ALUMAR**. In: Anais do 8º. Congresso Brasileiro de Manutenção, São Paulo.
- Moubray, J. (1997) **Reliability Centered Maintenance**. Butterworth, Heinemann, Oxford.
- Moubray, J. (1999). **Reliability-Centered Maintenance**, Butterworth-Heinemann, 2nd Edition.
- Murty, A.S.R. & Naikan, V.N.A. (1995) **Availability and maintenance cost optimization of a production plant**. International Journal of Quality & Reliability Management, Cambridge.
- NP EN 13306. (2007). **Terminologia da manutenção**. Instituto Português da Qualidade. Caparica
- Otani, M., & Machado, W. V. (2008). **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial. Vol. 4.
- Pedrosa, B. M. M. (2014). **Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) aplicada a um Secador Industrial**. Tese (Doutorado) — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Pintelon, L., & Parodi-Herz, A. (2008). Maintenance: An Evolutionary Perspective

- Pride, A. (2010). **Reliability Centered Maintenance**. Smithsonian Institution
- Ramakumar, R. (1993). **Engineering Reliability: Fundamentals and Application**. New Jersey: Prentice – Hall, Englewood Cliffs.
- Ramos, P. G. D. (2012). **Organização e Gestão da Manutenção Industrial: Aplicação Teórico-prática às Fábricas Lusitana - Produtos Alimentares, S.A.** Dissertação (Mestrado), Universidade da Beira Interior
- Ricardo J. (2016), **Avaliação de riscos e estudo de ergonomia: análise de atividade logística e linha de montagem na indústria automóvel**. Dissertação (Mestrado), Instituto Politécnico de Setúbal. Escola Superior de Ciências Empresariais.
- Santos M, Almeida A, Lopes C, Oliveira T. (2018) **Metodologias para a Avaliação de Riscos**: William Fine. Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional on line,
- Santos M, Almeida A, Lopes C, Oliveira T. (2019) **Métodos para a Avaliação de Riscos Laborais: Método Simplificado, MARAT (Metodologia de Avaliação de Riscos e Acidentes de Trabalho) ou NTP330**. Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional on line.
- Siqueira, I. P. (2005). **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro
- Slack, (1999). Nigel et al. **Administração da produção**. Editora Atlas. São Paulo:
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2002). **Administração da Produção**. Editora Atlas. São Paulo.
- Stamatis, D. H. (2003). **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution**. ASQ Quality Press, 445p.
- Weibull, W. A. (1951). **A statistical distribution function of wide applicability**. Journal of Applied Mechanics.
- Xenos, H. G. (1998). **Gerenciando a Manutenção Preventiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Editora de Desenvolvimento Gerencial. Belo Horizonte:
- Yamaguchi, C. T. (2005). **TPM – Manutenção Produtiva Total**. Instituto de Consultoria e Aperfeiçoamento Profissional. Minas Gerais.

Zempulski, N. L. (2008). **Dossiê Técnico – Oxidação Negra**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Instituto de Tecnologia do Paraná.

Zen, M. A. (2008) **O Fator Humano na Manutenção**. Centro de Estudos Avançados de Gestão de Riscos, Ativos e Manutenção

Anexos

Anexo A – Dados de manutenção recolhidos entre os anos de 2018 a 2020.

| Nº Manutenção | Ano | Componente | Tempo (h) | TBF (h) | TTR (h) |
|----------------------|------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|
| 1 | 2018 | 3 | 77 | 77 | 1 |
| 2 | 2018 | 3 | 170 | 93 | 1 |
| 3 | 2018 | 5 | 273 | 103 | 3 |
| 4 | 2018 | 3 | 389 | 116 | 1 |
| 5 | 2018 | 5 | 492 | 103 | 2 |
| 6 | 2018 | 3 | 637 | 145 | 5 |
| 7 | 2018 | 2 | 779 | 142 | 2 |
| 8 | 2018 | 3 | 882 | 103 | 2 |
| 9 | 2018 | 2 | 998 | 116 | 4 |
| 10 | 2018 | 3 | 1164 | 166 | 2 |
| 11 | 2018 | 2 | 1288 | 124 | 5 |
| 12 | 2018 | 5 | 1425 | 137 | 1 |
| 13 | 2018 | 4 | 1620 | 195 | 2 |
| 14 | 2018 | 3 | 1806 | 186 | 7 |
| 15 | 2019 | 6 | 1914 | 108 | 1 |
| 16 | 2019 | 1 | 1962 | 48 | 1 |
| 17 | 2019 | 2 | 2037 | 75 | 1 |
| 18 | 2019 | 3 | 2179 | 142 | 3 |
| 19 | 2019 | 3 | 2219 | 40 | 1 |
| 20 | 2019 | 3 | 2384 | 165 | 6 |
| 21 | 2019 | 4 | 2476 | 92 | 4 |
| 22 | 2019 | 3 | 2535 | 59 | 2 |
| 23 | 2019 | 3 | 2745 | 210 | 1 |
| 24 | 2019 | 3 | 2859 | 114 | 8 |
| 25 | 2019 | 5 | 2915 | 56 | 5 |
| 26 | 2019 | 4 | 3004 | 89 | 2 |
| 27 | 2019 | 3 | 3113 | 109 | 2 |
| 28 | 2019 | 6 | 3311 | 198 | 2 |
| 29 | 2019 | 3 | 3461 | 150 | 1 |
| 30 | 2019 | 2 | 3589 | 128 | 4 |
| 31 | 2019 | 3 | 3608 | 19 | 1 |
| 32 | 2019 | 4 | 3672 | 64 | 10 |

Anexo A – Dados de manutenção recolhidos entre os anos de 2018 a 2020.
(continuação)

| Nº Manutenção | Ano | Componente | Tempo (h) | TBF (h) | TTR (h) |
|----------------------|------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|
| 33 | 2019 | 3 | 3780 | 108 | 3 |
| 34 | 2019 | 5 | 3812 | 32 | 6 |
| 35 | 2019 | 6 | 3902 | 90 | 1 |
| 36 | 2020 | 3 | 3953 | 51 | 1 |
| 37 | 2020 | 1 | 4108 | 155 | 2 |
| 38 | 2020 | 5 | 4178 | 70 | 2 |
| 39 | 2020 | 3 | 4269 | 91 | 8 |
| 40 | 2020 | 3 | 4421 | 152 | 2 |
| 41 | 2020 | 3 | 4641 | 220 | 1 |
| 42 | 2020 | 3 | 4753 | 112 | 3 |
| 43 | 2020 | 4 | 4879 | 126 | 3 |
| 44 | 2020 | 3 | 4914 | 35 | 1 |
| 45 | 2020 | 3 | 4952 | 38 | 15 |
| 46 | 2020 | 5 | 4963 | 11 | 3 |
| 47 | 2020 | 3 | 5009 | 46 | 1 |
| 48 | 2020 | 2 | 5227 | 218 | 4 |
| 49 | 2020 | 3 | 5243 | 16 | 2 |
| 50 | 2020 | 3 | 5248 | 5 | 3 |
| 51 | 2020 | 2 | 5289 | 41 | 9 |
| 52 | 2020 | 3 | 5331 | 42 | 2 |
| 53 | 2020 | 3 | 5498 | 167 | 1 |
| 54 | 2020 | 6 | 5559 | 61 | 2 |
| 55 | 2020 | 3 | 5638 | 79 | 11 |
| 56 | 2020 | 5 | 5687 | 49 | 4 |
| 57 | 2020 | 4 | 5731 | 44 | 3 |
| 58 | 2020 | 3 | 5794 | 63 | 2 |
| 59 | 2020 | 1 | 5847 | 53 | 1 |
| 60 | 2020 | 2 | 5897 | 50 | 7 |
| 61 | 2020 | 5 | 5915 | 18 | 6 |
| 62 | 2020 | 3 | 5943 | 28 | 3 |
| 63 | 2020 | 3 | 6013 | 70 | 1 |