



Miguel Ângelo Barreiro Leopoldino

Licenciatura em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**Sistematização das atividades de
manutenção preventiva e
implementação de um sistema *kanban*
numa indústria de extração e
transformação de calcário**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Professora Doutora Helena Vítorovna
Guitiss Navas, Professora Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes
Arguente: Prof. Doutor Filipe José Didelet Pereira
Vogal: Prof. Doutora Helena Vítorovna Guitiss Navas



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2016



Sistematização das atividades de manutenção preventiva e implementação de um sistema *kanban* numa indústria de extração e transformação de calcário
Miguel Leopoldino

2016

Sistematização das atividades de manutenção preventiva e implementação de um sistema *kanban* numa indústria de extração e transformação de calcário

Copyright © Miguel Ângelo Barreiro Leopoldino, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação nunca teria sido possível sem a colaboração e a boa vontade de diversas pessoas que irei de seguida citar e que queria desde já deixar a minha gratidão por todo o apoio recebido. O sucesso será dividido com todos.

Agradeço à Professora Doutora Helena Víctorovna Guitiss Navas, pelo importantíssimo papel desenvolvido durante a realização da dissertação, pelo esclarecimento de todas as dúvidas que me surgiram e pela disponibilidade apresentada.

Colegas e companheiros, Paulo Durão e Joel Martins, pelo apoio, esclarecimento de dúvidas e transmissão de conhecimento acerca dos processos produtivos da organização Solancis.

A toda a equipa da Solancis e em especial aos presidentes do Conselho de Administração, Samuel Delgado e Helena Delgado, por disponibilizarem a realização da dissertação na sua entidade corporativa.

Colegas de curso e amigos da FCT, com destaque David, Gonçalo e Pedro.

Família, pelo grande esforço que fizeram para que eu pudesse terminar o curso e apoio para que nunca desistisse.

A todos um MUITO OBRIGADO!

Resumo

Com a globalização da economia, com o rápido desenvolvimento tecnológico e a competitividade dos mercados a aumentar dia após dia, é fundamental para as indústrias que os equipamentos não apresentem interrupções inesperadas, nomeadamente falhas e avarias. Para atingir este fim são elaborados planos de manutenção que garantam disponibilidade e fiabilidade adequadas dos equipamentos, de forma a se produzir a quantidade de produtos desejados, com a qualidade esperada e no período de tempo estipulado.

Esta dissertação foi elaborada no âmbito de um estágio realizado, numa empresa de extração e transformação de calcário. O estudo teve como objetivo a elaboração de planos de manutenção preventiva para os equipamentos críticos de uma secção e a melhoria do processo de gestão do fluxo de informação entre os departamentos de manutenção e de produção.

Foram identificados os equipamentos críticos com o auxílio do Diagrama de Pareto e realizada uma análise estatística, que visava identificar a tendência de falhas do sistema através do Teste de Laplace. Com a aplicação da distribuição de Weibull, foi determinada a periodicidade das rotinas da manutenção preventiva. Foram também, elaborados os Planos de Manutenção Preventiva para os equipamentos críticos.

Além disso, com o objetivo de melhorar a gestão e o controlo das atividades de gestão e de manutenção, foram implementados os quadros *kanban* em ambas as áreas funcionais da empresa.

Palavras-chave: Manutenção Preventiva; *Kanban*; Equipamentos críticos; Teste de Laplace; Diagrama Pareto

Abstract

With the Economic globalization, the fast technologic growth, and the markets competitiveness increasing day by day, it is crucial for the industries that its machines do not present unexpected downtime, such as machine failure or machine breakdown. In order to reach this goal, there is a need to create maintenance plans that guarantee availability, as well as, reliability for the equipment's, allowing to manufacture the desired quantity of a product, maintaining the expected quality and in a predefined timeframe.

This thesis was prepared, referring to an internship in a limestone's extracting and transforming company. The case-study had as a goal the creation of a preventive maintenance plan for the critical equipment's of a specific sector, and the improvement of the information flow management process between the production department and maintenance departments.

Using Pareto's diagram, was performed a statistical analysis with the intent to verify the tendency of flaws through Laplace Test. With Weibull distribution, it was determined the scheduling of preventive maintenance plans and routines for the critical equipment's. Nonetheless, Kanban boards were implemented in both sectors of the company with the goal of improving and controlling the maintenance management.

Keywords: Preventive Maintenance; Kanban; Critical Equipment's; Laplace Test; Pareto charts

Índice

CAPÍTULO 1 – Introdução	1
1.1. Enquadramento do estudo	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Metodologia	2
1.4. Estrutura da dissertação	3
CAPÍTULO 2 – Revisão bibliográfica	5
2.1. Manutenção	5
2.2. Evolução da manutenção	5
2.3. Gestão da manutenção	7
2.4. Tipos de manutenção	8
2.5. Manutenção Centrada na Fiabilidade	11
2.6. Fiabilidade	12
2.7. Evolução da Fiabilidade	13
2.8. Análise de sobrevivência	13
2.9. Análise estatística das falhas	15
2.10. Sistemas reparáveis	18
2.10.1. Análise da tendência dos dados	18
2.10.2. Processos estocásticos pontuais	19
2.10.3. Teste de Laplace	21
2.10.4. Modelo de Crow	23
2.10.5. Indicadores de desempenho	24
2.11. Distribuição de Weibull	25
2.12. <i>Kanban Project Management - KPM</i>	28
CAPÍTULO 3 – Caraterização da empresa	31
3.1. Apresentação da empresa	31
3.2. História da empresa	31
3.3. Estrutura Organizacional	32
3.4. Produtos	33

3.4.1.	Tipos de pedra.....	34
3.4.2.	Categoria	35
3.4.3.	Tipos de acabamento	36
3.5.	Mercados	37
3.6.	Secção 13 - Lancil.....	38
3.6.1.	<i>Layout</i> da Secção 13 - Lancil	38
3.6.2.	Identificação dos equipamentos.....	39
3.6.3.	Descrição do processo produtivo	40
3.7.	Filosofia de gestão da manutenção na empresa	51
3.7.1.	<i>Software</i> de apoio à manutenção	51
3.7.2.	Manutenção corretiva - Solancis	52
3.7.3.	Pontos críticos detetados e oportunidades de melhoria	54
CAPÍTULO 4 – Proposta de um plano de manutenção preventiva para os equipamentos críticos		57
4.1.	Análise dos equipamentos críticos	57
4.1.1.	Análise do número de falhas.....	57
4.1.2.	Análise dos tempos de paragem	60
4.1.3.	Análise das causas das paragens.....	62
4.2.	Análise de tendência do sistema reparável – Secção 13.....	65
4.2.1.	Sistema reparável com taxa de falhas constante	67
4.2.2.	Sistema reparável com taxa de falhas decrescente	71
4.3.	Análise da disponibilidade do sistema	73
4.4.	Seleção dos equipamentos para o plano de manutenção preventiva com o auxílio do método Ipinza.....	74
4.5.	Elaboração dos planos de manutenção preventiva.....	76
4.5.1.	Com base na fiabilidade do equipamento crítico.....	77
4.5.1.1.	Limite inferior de confiança.....	79
4.5.1.2.	Limite superior de confiança.....	80
4.5.2.	Com base na manutibilidade do equipamento crítico	81
4.5.2.1.	Limite inferior de confiança.....	81

4.5.2.2. Limite superior de confiança.....	82
4.5.3. Planos de manutenção preventiva	84
4.5.3.1. Plano de manutenção preventiva – Multifio	84
4.5.3.2. Plano de manutenção preventiva – Stone Mill.....	89
4.5.3.3. Plano de manutenção preventiva – Engenho Metalonegrais.....	92
CAPÍTULO 5 – Reestruturação e organização do fluxo de informação	97
5.1. Gestão e controlo da informação no Departamento de Manutenção através da implementação de um quadro de manutenção	97
5.1.1. Elaboração e implementação do quadro de manutenção.....	98
5.1.2. Modo de funcionamento	100
5.2. Gestão e controlo da informação na Secção 13 através da implementação de um quadro de produção (<i>Kanban</i>).....	101
5.2.1. Elaboração e implementação do quadro de produção	102
5.2.2. Modo de funcionamento	103
CAPÍTULO 6 – Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.....	107
6.1. Conclusões	107
6.2. Sugestões para trabalhos futuros	110
Bibliografia.....	113
Anexos.....	119
Apêndice.....	123

Índice de figuras

Figura 2.1: Cronograma – Técnicas de manutenção	7
Figura 2.2: Classificação dos tipos de manutenção	8
Figura 2.3 O desenvolvimento das tecnologias de manutenção	10
Figura 2.4: Vantagens da aplicação RCM	12
Figura 2.5: Exemplo de dados censurados à direita	15
Figura 2.6: Exemplo de dados censurados à esquerda.....	15
Figura 2.7: Curva da banheira.....	19
Figura 2.8: Representação da Normal reduzida	22
Figura 2.9: F.d.p da distribuição de Weibull	27
Figura 2.10: Função de Fiabilidade da distribuição de Weibull	27
Figura 2.11: Função de Risco da distribuição de Weibull	28
Figura 2.12: Exemplo de um quadro <i>kanban</i>	29
Figura 3.1: Instalações da empresa.....	31
Figura 3.2: Evolução da empresa ao longo dos anos.....	32
Figura 3.3: Organograma da Solancis.....	33
Figura 3.4: Lioz Coral ou Lioz de Pêro Pinheiro	34
Figura 3.5: Pedreira Carrasqueira, Pêro Pinheiro, Sintra	34
Figura 3.6: Azul Primavera ou Vidraço Ataija Azul	35
Figura 3.7: Vale Amazona ou Vidraço Ataija Mix	35
Figura 3.8: Pedreira Codurneiro, localizada nas redondezas da Ataija, Alcobaça.....	35
Figura 3.9: Fachada Curva	36
Figura 3.10: Ladrilho	36
Figura 3.11: Calçada.....	36
Figura 3.12: Acabamento Bujardado.....	36
Figura 3.13: Acabamento Amaciado	36
Figura 3.14: Acabamento Escacilhado	36
Figura 3.15: Centro cultural de Belém.....	37
Figura 3.16: Museu Petit Palais	37
Figura 3.17: Layout da Secção 13 – Lancil.....	38
Figura 3.18: Layout da Secção 13 – Lancil com equipamentos identificados	40
Figura 3.19: Fluxograma do processo produtivo da Solancis.....	41
Figura 3.20: Descarga dos blocos por ponte 25T.....	43
Figura 3.21: Descarga dos blocos	43
Figura 3.22: Multifio Diamantado DECAWIRE VT (Pellegrini).....	44
Figura 3.23: Engenho Metalonegrais.....	44

Figura 3.24: Armazenagem de chapas.....	45
Figura 3.25: Transporte da chapa por ponte rolante 6,3T com auxílio de uma ventosa.....	46
Figura 3.26: Máquina de flamejar.....	46
Figura 3.27: Máquina de corte tipo ponte Gregori Impala.....	47
Figura 3.28: Stone Mill.....	47
Figura 3.29: Máquina de ponte Minorça.....	48
Figura 3.30: Transporte das peças por empilhador elétrico.....	48
Figura 3.31: Acabamento robotizado.....	49
Figura 3.32: Acabamento manual.....	49
Figura 3.33: Peças embaladas.....	49
Figura 3.34: Organograma do serviço de manutenção.....	51
Figura 3.35: Ordem de Manutenção no <i>software</i> RPS.....	52
Figura 3.36: Fluxograma para uma atuação de manutenção corretiva.....	53
Figura 4.1: Evolução do número de falhas por mês.....	58
Figura 4.2: Diagrama de Pareto – Número de falhas por equipamento.....	59
Figura 4.3: Diagrama de Pareto – Número de paragens por equipamento.....	59
Figura 4.4: Tipos de avaria.....	60
Figura 4.5: Diagrama de Pareto – Tempo de paragem por equipamento.....	61
Figura 4.6: Divisão dos tempos de paragem por equipamento.....	62
Figura 4.7: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida do sistema.....	66
Figura 4.8: Ocorrência de falhas nos equipamentos críticos ao longo do tempo.....	67
Figura 4.9: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida - Stone Mill.....	69
Figura 4.10: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida - Engenho.....	69
Figura 4.11: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida - Máq. Corte 084.....	69
Figura 4.12: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida - Máq. Corte 078.....	70
Figura 4.13: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida - Multifio.....	70
Figura 4.14: Fiabilidade dos equipamentos.....	70
Figura 4.15: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida - Robot Fanuc.....	72
Figura 4.16: Valores do MTBF em função do tempo de vida do equipamento Robot Fanuc.....	73
Figura 4.17: Parâmetros de forma e escala do equipamento Engenho.....	77
Figura 4.18: Estimativa não-paramétrica da fiabilidade do equipamento.....	78
Figura 4.19: Estimativa não-paramétrica da f.a.p do equipamento.....	78
Figura 4.20: F.d.p e função distribuição acumulada [Weib; $\beta=0,50$; $\eta=12,88$].....	79
Figura 4.21: F.d.p e função distribuição acumulada [Weib; $\beta=1,32$; $\eta=60,22$].....	80
Figura 4.22: Parâmetros de forma e escala do equipamento Engenho.....	81
Figura 4.23: F.d.p e função distribuição acumulada [Weib; $\beta=0,79$; $\eta=3,77$].....	82
Figura 4.24: F.d.p e função distribuição acumulada [Weib; $\beta=2,09$; $\eta=9,86$].....	83

Figura 4.25: Componentes a serem verificados pelo operador	86
Figura 5.1: Quadro de Manutenção em funcionamento	99
Figura 5.2: Cartão de Manutenção	99
Figura 5.3: Forma de atuação na ocorrência de uma avaria num equipamento	100
Figura 5.4: Fluxo de informação do quadro de manutenção	101
Figura 5.5: Quadro de produção em funcionamento	103
Figura 5.6: Cartões <i>Kanban</i> utilizados na secção 13.....	104
Figura 5.7: Fluxo de informação entre o departamento de produção e a secção 13.....	105
Figura 5.8: Seleção do cartão de produção.....	105
Figura 5.9: Visualização dos artigos em processo de produção e produzidos.....	106
Figura 5.10: Cartão a preencher em caso de problema	106

Índice de tabelas

Tabela 3.1: Identificação dos equipamentos.....	39
Tabela 3.2: Turnos de trabalho da Secção 13 - Lancil.....	42
Tabela 4.1: Causas de paragens na secção 13 dos equipamentos com TER mais críticos	63
Tabela 4.2: Causas dos TER relativamente às causas de paragem dos equipamentos	64
Tabela 4.3: Teste de Laplace às falhas dos equipamentos da secção 13	66
Tabela 4.4: Resultados dos indicadores MTBF, MTBF mínimo e taxa de falhas da secção 13..	66
Tabela 4.5: Teste de Laplace às falhas dos equipamentos críticos	67
Tabela 4.6: Resultados dos indicadores MTBF, MTBF mínimo e taxa de falhas dos equipamentos com taxa de falhas constantes	68
Tabela 4.7: Teste de Laplace às falhas do equipamento – Robot Fanuc	71
Tabela 4.8: Teste limitado por tempo – Limite inferior e superior de confiança.....	72
Tabela 4.9: Valor do CMTBF e dos seus limites inferior e superior.....	72
Tabela 4.10: Disponibilidade dos equipamentos com base nos indicadores MTBF e MTTR	73
Tabela 4.11: Método de Ipinza aplicado ao equipamento Multifio Diamantado DECAWIRE ..	75
Tabela 4.12: Classificação do método Ipinza para o equipamento Multifio Diamantado	75
Tabela 4.13: Classificação do método Ipinza para os equipamentos críticos	76
Tabela 4.14: Plano de Manutenção Preventiva Diário - Multifio	85
Tabela 4.15: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva - Multifio	86
Tabela 4.16: Plano de Manutenção Preventiva Diário – Stone Mill	90
Tabela 4.17: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva - Stone Mill	90
Tabela 4.18: Plano de Manutenção Preventiva Diário - Engenho	93
Tabela 4.19: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva - Engenho.....	94

Acrónimos

- BIP** - Processos *Birth-Immigration*
- BRP** - Processos de Poisson Ramificados
- CAD** - *Computer aided design*
- CEN** – Comité Europeu de Normalização
- CNC** – Comando Numérico Computadorizado
- CMTBF** – *Cumulated Medium Time Between Failures*
- DR** – Duração da reparação
- ERP** - *Enterprise Resource Planning*
- FCT** – Faculdade de Ciências e Tecnologias
- FDC** – Função Distribuição Cumulativa
- FDP** – Função Densidade de Probabilidade
- FRE** – Ficha de reparação do equipamento
- MC** – Manutenção Corretiva
- MP** – Manutenção Preventiva
- MTBF** – *Mean Time Between Failures*
- MTTF** – *Mean Time to Failure*
- MTTR** – *Mean Time to Repair*
- OF** – Ordem de fabrico
- OM** – Ordem de Manutenção
- PME** – Pequenas e Médias Empresas
- PPH** – Processos de Poisson Homogéneos
- PPNH** – Processos de Poisson não Homogéneos
- RCM** - *Reliability Centered Maintenance*
- RE** – Responsável de extração
- RFID** – *Radio-frequency identification*
- ROCOF** - *Rate of Occurrence of Failures*
- RP** – Processos Renovados
- SMED** - *Single Minute Exchange of Die*
- SR** – Sistema Reparável
- SRP** - Processos Renovados Sobrepostos
- TBF** – *Time Between Failures*
- TER** – Tempo de espera para reparação
- TPM** – *Total Productive Maintenance*
- TR** – Tempo de reparação
- TTR** – *Time to Repair*

Simbologia

D – Disponibilidade

E(t) – Tempo médio entre falhas

f(t)- Função densidade de probabilidade

F(t) - Função de distribuição cumulativa

h(t) - Função de risco

H0 – Hipótese nula

H1 – Hipótese alternativa

L – Função de máxima verosimilhança

n - Número de componentes que falham

N – Número de avarias verificados no período

R(t) – Função de fiabilidade ou de sobrevivência

t - Tempo

T – Tempo de observação do sistema (período do ensaio)

T_{nf} – Tempo de observação do sistema (teste limitado pelo número de falhas)

Tri – Tempo de reparação no período

t₀ – Parâmetro de localização (vida mínima)

V(t) - Variância

Z0 – Estatística de teste

β – Parâmetro de forma da distribuição de Weibull

$\hat{\beta}$ – Estimativa da constante do modelo de Crow

η - Parâmetro de escala da distribuição de Weibull

$\hat{\theta}$ - Estimativa do valor do tempo cumulativo médio entre falhas

$\hat{\theta}_i(\tau)$ - Limite inferior do tempo cumulativo entre falhas

θ_i - MTBF mínimo

$\hat{\theta}_s(\tau)$ - Limite superior do tempo cumulativo entre falhas

λ - Taxa de falhas

$\hat{\lambda}$ - Estimativa da constante do modelo de Crow

λ(t) – Taxa de variação do número esperado de falhas

ρ(t) - Taxa de falhas quando esta apresenta tendência (Modelo de Crow)

τ_i - Idade do sistema para a avaria de ordem i

Δt - Intervalo de tempo

χ² - Distribuição Qui-Quadrado

π - Constante do modelo de Crow para o cálculo dos limites inferior e superior

CAPÍTULO 1 – Introdução

O presente capítulo apresenta o enquadramento da dissertação, os objetivos a atingir, a metodologia de investigação seguida, bem como a estrutura utilizada para a realização desta dissertação.

1.1. Enquadramento do estudo

Sendo a Solancis, uma empresa de referência a nível nacional e internacional, na indústria de extração e transformação de pedra calcária, observa-se deste modo, o aumento progressivo ano após ano do número de pedidos dos clientes e das obras adquiridas em concursos. À primeira vista, poderá parecer bastante positivo este aumento de encomendas por parte dos consumidores, mas em contrapartida, também terá impactos indesejáveis para a organização, pois esta terá um maior número de artigos a serem produzidos, uma gestão de informação mais complexa pelo aumento da diversidade de pedidos de países estrangeiros e prazos de entrega que terão por esse mesmo motivo que ser meticolosamente planeados, etc.

Desta forma, para que se mantenha ou aumente o reconhecimento da empresa nos mercados, será necessário apresentar um nível de serviço de excelência, na medida em que não se falhe prazos de entrega previamente acordados, não se produza produtos com defeitos ou fora dos limites de tolerância e mantenha-se um contacto permanente, informativo e esclarecedor durante todo o ciclo da encomenda com o cliente.

Assim, foi sugerido à respetiva entidade, a realização de um caso de estudo à secção 13, secção mais antiga e estática da organização, tendo em vista a identificação da disponibilidade e aumento da fiabilidade dos equipamentos através da elaboração de planos de manutenção preventiva, bem como da implementação de um processo de gestão de forma a melhorar-se o fluxo de informação no departamento de manutenção e secção 13.

Espera-se com isto, aumentar o ciclo de vida dos equipamentos para que não haja tantas interrupções na produção e desconformidades nos artigos fabricados devido a anomalias que poderiam ser evitadas, bem como melhorar os canais de informação, para que dessa forma se consiga informar eficientemente cada interveniente e assim se planear de acordo com o *feedback* recebido.

1.2. Objetivos

Os principais objetivos do respetivo estudo são aumentar a fiabilidade dos equipamentos críticos através da elaboração de planos de manutenção preventiva para a secção 13, sensibilizar para a adoção de uma cultura preventiva e introduzir alguns conceitos de melhoria continua para

aprimorar a sustentabilidade organizacional, e potencializar a eficiência informativa com a implementação de um processo de gestão e organização da informação similar à ferramenta *kanban*, para o departamento de manutenção e respetiva secção.

Assim, para que fosse possível alcançar os principais objetivos, e não menos relevante, foram estabelecidos sub-objetivos, como:

- a identificação e determinação dos equipamentos que mais afetaram a produção pelo seu número e tempo de paragens entre 1 de Janeiro de 2015 e 31 de Março de 2016, recorrendo a registos históricos de falhas;
- a análise das causas das avarias que mais contribuíram para a cessação dos equipamentos e consequentemente paragens na linha de produção;
- a divisão do tempo total de reparação (TTR) em tempo de espera para reparação (TER) e tempo de reparação (TR), de forma a se verificar quais influenciaram mais no tempo despendido de paragem;
- a verificação da tendência de falhas dos equipamentos críticos;
- a modelação dos tempos entre intervenção;
- a elaboração de quadros de produção e de manutenção em conformidade com as especificações exigidas.

1.3. Metodologia

O estudo iniciou-se pela recolha de dados relativos à documentação, às práticas e aos procedimentos de gestão da manutenção existentes na empresa. Com base nisso, realizou-se uma análise aprofundada dos dados recolhidos, bem como identificados alguns problemas e algumas oportunidades de melhoria.

Foi realizado o levantamento e a análise do histórico de avarias dos equipamentos, através da base de dados dos serviços de manutenção e fichas de reparação. Posteriormente foram identificados os equipamentos críticos recorrendo-se ao Diagrama de Pareto, relativamente aos que apresentavam maior número de falhas e tempo de reparação. Através do Teste de Laplace, aferiu-se a tendência de falhas do sistema e dos equipamentos críticos.

Por fim, foram implementados os planos de manutenção preventiva de acordo com a análise de dados realizada previamente.

Também foram implementados quadros *kanban* nos departamentos de produção e manutenção.

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em 5 capítulos.

O capítulo 1, “Capítulo I – Introdução”, faz um breve enquadramento do estudo realizado, descreve a metodologia seguida para o desenvolvimento desta dissertação, a sua estrutura e os objetivos que se pretendem atingir.

O capítulo 2, “Capítulo II – Revisão bibliográfica”, encontram-se os fundamentos teóricos que abordam temas como a manutenção e fiabilidade, entre outros. Poder-se-á encontrar definições, histórias de evolução, indicadores de desempenho e alguns conceitos acerca de análises estatísticas, sistemas reparáveis e distribuições.

No capítulo 3, “Capítulo III – Caracterização da empresa”, é realizado um breve resumo acerca da entidade onde se elaborou o caso de estudo. É apresentada a empresa, o seu organograma organizacional, produtos, mercados onde atua, o funcionamento do processo produtivo, *layout* da secção 13, equipamentos e a gestão da manutenção.

O capítulo 4 encontra-se dividido em duas partes, “Parte I - Proposta de melhoria para a Gestão da Manutenção - Elaboração de um plano de manutenção preventiva para os equipamentos críticos” e “Parte II - Reestruturação e organização do fluxo de informação - Secção 13 e Departamento de Manutenção”. Na primeira parte, encontra-se a análise e tendência dos equipamentos e sistema, como a modelação dos tempos de intervenção, com o intuito de elaborar os planos de manutenção preventiva. Na segunda parte, a reestruturação e organização do fluxo de informação para a secção 13, através de um quadro de produção com as ordens de fabrico a produzir; e para o departamento de manutenção, através de um quadro de manutenção com as solicitações para reparação dos equipamentos.

Por último, o capítulo 5, “Capítulo V - Conclusões e sugestões para trabalhos futuros”, pode-se obter as ilações retiradas com a realização deste caso de estudo e também sugestões para trabalhos futuros, de modo a dar continuidade ao processo de melhoria da empresa.

CAPÍTULO 2 – Revisão bibliográfica

Neste capítulo serão abordados conceitos e fundamentos teóricos acerca da gestão da manutenção e fiabilidade, bem como de algumas ferramentas que potenciam a eficiência do fluxo de informação organizacional.

2.1. Manutenção

Atualmente o comportamento em relação à manutenção está a alterar, o que era considerado anteriormente como um “mal necessário”, é agora visto como um “contribuidor de lucro” e considerado quase um aliado para se alcançar a competitividade a nível mundial. (Waeyenbergh e Pintelon, 2002)

Segundo Faccio *et al* (2014), um planeamento da manutenção adequado, revela-se como um dos objetivos a atingir pelas indústrias que procuram melhorar a disponibilidade e fiabilidade dos seus sistemas de produção, maximizando a produtividade, a qualidade do produto, a segurança nas operações e minimizando os custos totais de manutenção.

A manutenção contém diversas definições que podem ser encontradas em inúmeras fontes bibliográficas.

Para a Norma Europeia EN 13306:2010, a manutenção é a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, que durante o ciclo de vida de um determinado componente, se destinam a mantê-lo ou a restaurá-lo para um estado onde possa executar a função desejada (CEN, 2010).

Já Cabral (1998), define a manutenção como um conjunto de ações que asseguram o bom funcionamento das máquinas e das instalações, garantindo que estas sofram intervenções no momento certo de forma a evitar avarias ou quebras no rendimento, e se tal acontecer, que sejam repostas nas melhores condições de operacionalidade, no menor tempo possível garantindo um custo total otimizado.

Apesar de nos dias de hoje a manutenção ser um fator estratégico que garante a elevada produtividade das indústrias, por outro lado, a crise económica levou as empresas a reduzir nas despesas de manutenção, com consequências severas a longo prazo para a fiabilidade (Faccio *et al*, 2014).

2.2. Evolução da manutenção

O início da engenharia da manutenção moderna está relacionado com o desenvolvimento do motor a vapor de James Watt, em 1769, na Grã-Bretanha. Posteriormente, em 1882, nos Estados Unidos, a revista *Factory* teve um papel fundamental no desenvolvimento do campo da

manutenção. Em 1886, é publicado um livro sobre a manutenção dos caminhos ferroviários (Dhillon, 2006).

Segundo (Moubray, 1997), desde a década de 1930, que a manutenção pode ser dividida em três gerações. A primeira geração prolonga-se até à segunda guerra mundial. Nesses dias, as indústrias eram pouco mecanizadas, e desse modo o tempo de improdutividade ainda não era muito relevante, o que levou os responsáveis a negligenciarem a manutenção preventiva dos seus equipamentos. Por outro lado, a maioria dos equipamentos eram simples e fáceis de reparar e como resultado não havia uma necessidade para uma manutenção sistemática, serviços de limpeza ou rotinas de lubrificação. As capacidades técnicas também eram inferiores às dos dias atuais. Assim, até à década de 1940, o custo de manutenção era considerado como inevitável e apenas se atuava após a avaria (Wärja, 2005).

Na segunda geração, com o início da segunda guerra mundial, houve alterações significativas no modo de ver a manutenção. Com os tempos de guerra a decorrer, existiu um aumento abrupto na procura por bens de consumo, enquanto que, a oferta da mão de obra industrial diminuiu. Isto levou a um acréscimo da mecanização industrial, o que, por volta da década de 1950, notou-se um aumento do número de máquinas e suas complexidades. A indústria tornou-se dependente desta mecanização e começou-se a adquirir um interesse pelos tempos de improdução. Assim, introduziu-se a ideia de que as falhas dos equipamentos deviam e podiam ser prevenidas, o que originou o conceito da manutenção preventiva. Por volta da década de 1960, a maioria dos equipamentos já possuía uma revisão periódica (Moubray, 1997). Muitas organizações alteraram por precaução para programas de manutenção preventiva, pois reconheceram que algumas das falhas mecânicas dos componentes, estavam diretamente relacionadas com o tempo e número de ciclos utilizados (Kobbacy e Murthy, 2008). Por outro lado, os custos de manutenção também começaram a aumentar significativamente em relação a outros custos de operação, o que conduziu para o desenvolvimento de uma manutenção mais planeada e introdução de sistemas de controlo, (Moubray, 1997).

Por meados dos anos 70, iniciou-se a terceira geração e houve um grande impulso na indústria (Moubray, 1997). Nos finais dos anos 70 e início dos anos 80, os equipamentos no geral tornaram-se mais complexos e como resultado, o comportamento de falhas dos componentes começou a alterar as características de falhas dos equipamentos. Assim, como o modo de falha não estava relacionado com a idade, as ações de manutenção preventiva eram limitadas na melhoria da fiabilidade dos equipamentos complexos, o que, se começou a questionar a eficácia da aplicação de ações de manutenção preventiva. Rapidamente cresceu uma preocupação comum sobre o excesso de manutenção praticada. Foi posta em causa os benefícios da manutenção preventiva, surgindo como novas técnicas a manutenção preditiva (inspeção baseada na condição do equipamento) (Kobbacy e Murthy, 2008).

No final dos anos 80 e início dos anos 90, houve uma alteração na história da manutenção com o aparecimento da engenharia de ciclo de vida. A manutenção começou a ter outros requisitos, como começar a envolver-se na seleção, *design* e desenvolvimento de equipamentos. Como resultado, a manutenção tornou-se pró-ativa, na medida em que começou a atuar nas fases iniciais do produto com o intuito de evitar consequências para o futuro. Assim, as funções de manutenção começaram a ser úteis para as organizações e adicionalmente foi dada mais atenção às ações de manutenção pró-ativa (Kobbacy e Murthy, 2008).

Um dos maiores desafios para o pessoal da manutenção nos dias de hoje, não é apenas aprender que técnicas existem, mas sim decidir qual delas vale a pena aplicar nas suas próprias organizações. As escolhas corretas irão possibilitar a redução dos custos de manutenção, mas em contrapartida, uma má decisão irá criar novos problemas e piorar os já existentes (Moubray, 1997).

A figura 2.1 revela as técnicas de manutenção adotadas ao longo das gerações.

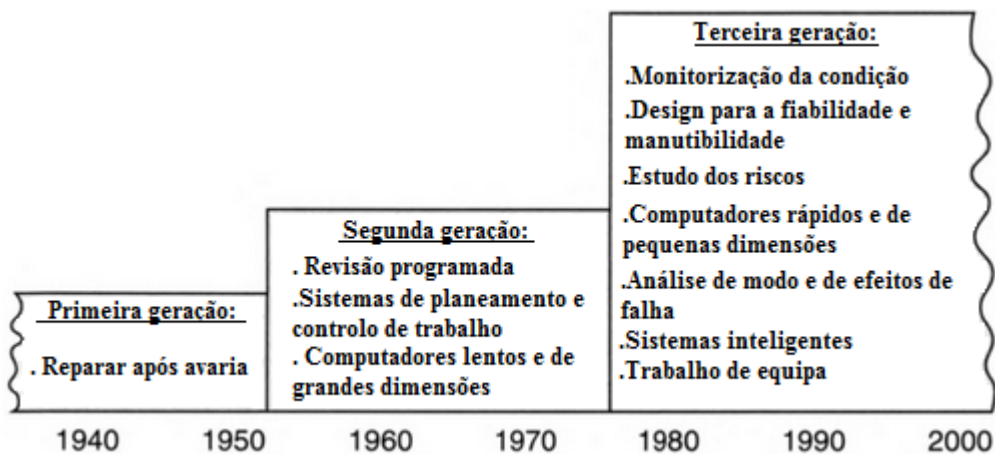


Figura 2.1: Cronograma – Técnicas de manutenção (Adaptado de Moubray, 1997)

2.3. Gestão da Manutenção

Atualmente, a proporção dos esforços da manutenção comparado com os da operação aumentaram e irão continuar a aumentar. Isto porque, as indústrias tendem cada vez mais a mecanizar e a automatizar a maioria dos seus processos. Por sua vez, esta tendência fez diminuir o número de operadores, e ao mesmo tempo, resultou a necessidade de adquirir técnicos, eletricitas e outro tipo de prestadores de serviços (Nebel, 1994).

Segundo a norma europeia EN 13306:2010, a gestão da manutenção é definida como o conjunto de todas as tarefas da gestão que determinam os objetivos, a estratégia e as responsabilidades respeitantes à manutenção e que os implementam por meios, tais como o planeamento, o controlo e supervisão da manutenção e a melhoria de métodos na organização, incluindo os aspetos económicos.

A maioria dos escritores de gestão da manutenção, concordam que a manutenção pode ser definida como “um conjunto de atividades requeridas para manter os equipamentos numa condição operacional desejada ou para restaurá-los para essa mesma condição”. Isto pode sugerir que a manutenção é simples, mas não o é, como pode ser confirmado por qualquer operador de manutenção. Conseqüentemente, a gestão da manutenção é necessária para se incutir uma prática de manutenção para um contexto complexo e dinâmico. A partir de uma visão pragmática, o principal objetivo da gestão da manutenção é a “otimização total de recursos do ciclo de vida”. Em outras palavras, maximizar a disponibilidade e fiabilidade dos recursos e equipamentos para produzirem a quantidade de produtos desejados, com a qualidade especificada e no tempo estipulado (Kobbacy e Murthy, 2008).

2.4. Tipos de manutenção

O desempenho de um sistema ou equipamento, não depende apenas da sua concepção e operacionalidade, mas sim também dos serviços de reparação e de manutenção que este tem ao longo do seu tempo de vida. Deste modo, para que os equipamentos prolonguem o seu tempo útil de vida, requerem uma manutenção adequada, um serviço de reparação apropriado, como por exemplo a troca de componentes que falharam, e um armazenamento de peças organizado e controlado. Estas ações são uma parte integrante da manutenção e manutibilidade (Blischke e Murthy, 2003).

Existem diversas nomenclaturas utilizadas para definir os tipos de manutenção, mas apesar dessa divergência, os conceitos no geral são unânimes. Para Cabral (2009), a nomenclatura utilizada para os tipos de manutenção é a seguinte:

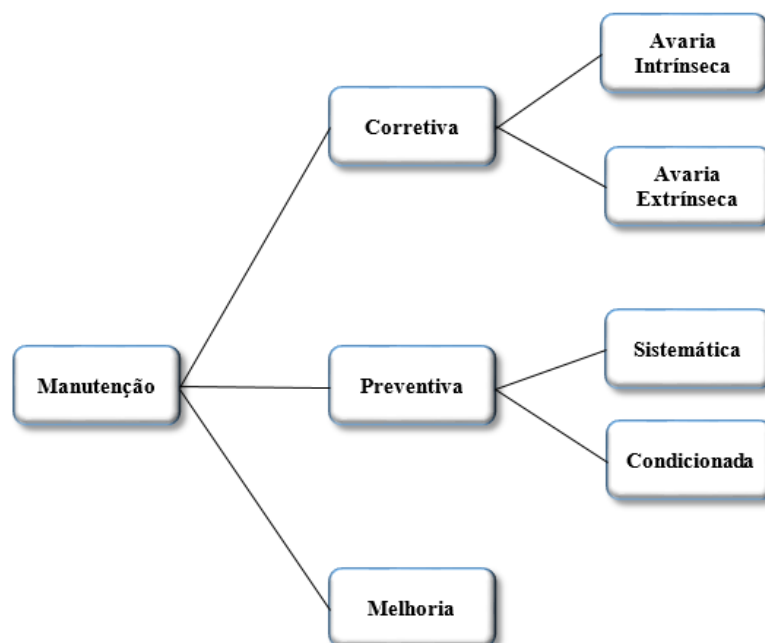


Figura 2.2: Classificação dos tipos de manutenção (Adaptado de Cabral, 2009)

Manutenção Corretiva

É um tipo de manutenção que é realizada depois da ocorrência de uma avaria com cessação da aptidão de um equipamento para realizar a função requerida, destinada a restaurar a aptidão desse equipamento para realizar essa função. A cessação da aptidão não depende apenas do tempo total de reparação, mas também dos tempos de diagnóstico, logística e das afinações necessárias ao equipamento. Este tipo de manutenção é mais adequado quando o funcionamento do equipamento não é vital para o processo produtivo, o custo das reparações é baixo e não existem problemas a nível de segurança (Navas, 2015).

Esta pode-se ramificar em dois grupos, em avaria intrínseca e avaria extrínseca. A avaria intrínseca é a perda de função por causa intrínseca ao próprio equipamento (equipamento inoperacionalizou, rolamento gripou, retentor gasto, tubo rompeu, etc.). Pelo lado oposto, a avaria extrínseca é a perda de função por causa exterior ao equipamento (acidente, colisão, má operação, etc.), que embora penalizando a disponibilidade operacional do equipamento, não contribui para os seus indicadores teóricos e a fiabilidade intrínseca do equipamento: colisão de viatura, erro do operador (Cabral, 2009).

Manutenção Preventiva

Como o nome indica, as tarefas de manutenção preventiva visam evitar as paragens não planeadas e os danos prematuros nos equipamentos. Este tipo de manutenção aborda uma gestão programada das tarefas de manutenção, em intervalos de tempo predeterminados, como lubrificações e ajustamentos, destinados a manter a fiabilidade e a disponibilidade num nível aceitável (Mobley, 2011). Estas ações requerem normalmente o equipamento desligado e têm como objetivo aumentar o seu ciclo de vida. Por outro lado, o intervalo de tempo para realizar este tipo de manutenção é mais reduzido do que outros tipos de manutenção que exigem um tempo significativamente maior (Blischke e Murthy, 2003).

A manutenção preventiva pode-se dividir em dois grupos, manutenção sistemática e manutenção condicionada ou preditiva.

As intervenções de manutenção preventiva sistemática desencadeiam-se periodicamente, com base no conhecimento da lei de degradação aplicável ao caso do componente particular e de um risco de falha assumido. Um exemplo típico de tarefas que são efetuadas em regime de manutenção preventiva sistemática é o que respeita às operações de lubrificação. Entre elas contam-se as mudanças de óleo para equipamentos de pequeno e médio porte e as chamadas rotinas de lubrificação (Didelet e Viegas, 2003).

Já a manutenção preventiva condicionada ou preditiva é realizada em função do estado dos componentes do equipamento. Esta, também pode ser denominada de manutenção inteligente, já

que a intervenção se faz apenas com a manifestação da necessidade. É uma manutenção preventiva, subordinada a um tipo de acontecimento predeterminado (autodiagnóstico), à informação de um sensor, a uma medida de um desgaste, ou outro indicador que possa revelar o estado de degradação do equipamento. É geralmente aplicada a máquinas vitais para a produção, a equipamentos cuja avaria compromete a segurança e a equipamentos críticos, com avarias caras e frequentes (Brito, 2003).

Manutenção de melhoria

Quando o restabelecimento das condições de funcionamento só é possível através de alguma alteração ao equipamento ou quando as condições de manutenção, tendo em vista a melhoria da manutibilidade e/ou da fiabilidade, recomendam que essas alterações se façam, diz-se que a manutenção é de melhoria (Navas, 2015). Exemplos: instalação de equipamento adicional de monitorização, controlo, automação, economizador de energia, acessos para a manutenção, etc. (Cabral, 2009).

A figura 2.3 demonstra o desenvolvimento das tecnologias de manutenção ao longo do tempo.

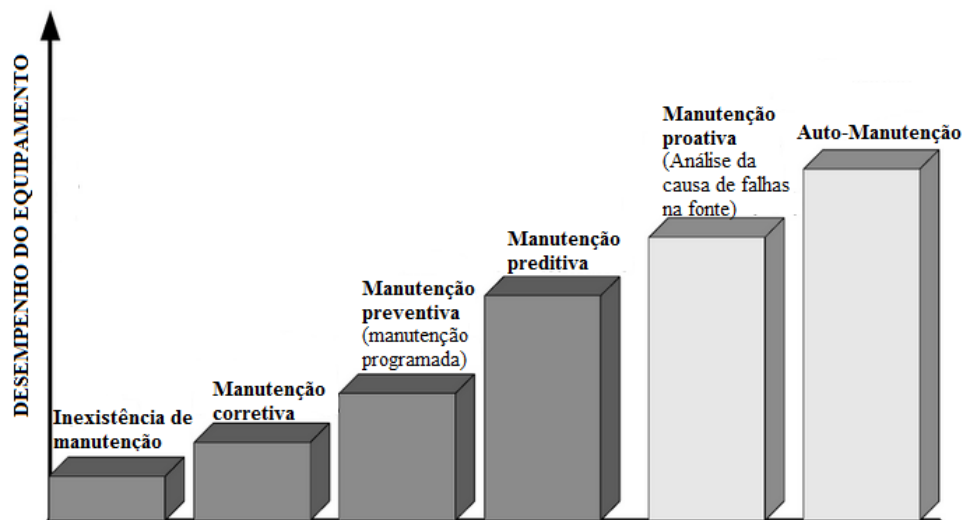


Figura 2.3 O desenvolvimento das tecnologias de manutenção (Adaptado de Kobbacy e Murthy, 2008)

Manutenção Autónoma

A manutenção autónoma é um dos oito pilares e a espinha dorsal do conceito desenvolvido pela *Toyota* denominado por *Total Productive Maintenance* (Manutenção Total Produtiva).

Através da manutenção autónoma, os operadores aprendem a realizar tarefas diárias importantes, que raramente os operadores de manutenção têm tempo para as realizar. Estas incluem limpezas no equipamento, inspeção, verificação, lubrificação e podem ser divididas no

5'S (*seiri* (separar/eliminar), *seiton* (organizar/arrumar), *seiso* (limpar), *seiketsu* (normalizar/padronizar) e *shitsuke* (sustentar/auto-disciplinar) (Nakajima, 1988; Tajiri e Gotoh, 1992; Suzuki, 1992). Com a introdução destas atividades, os operadores passam a ser responsáveis pelos seus próprios equipamentos, sem ser necessário ordená-los para esse efeito. Com o objetivo de alcançar zero avarias, zero acidentes e zero defeitos, os operadores adquirem confiança nas suas próprias habilidades e a organização começa-se a aperceber da importância da sua contribuição para o desempenho produtivo (Dossenbach, 2006).

Após estas tarefas serem transmitidas aos operadores, o pessoal da manutenção pode-se focar no desenvolvimento e implementação de outros planos pró-ativos para a manutenção (Nakajima, 1988; Tajiri e Gotoh, 1992; Suzuki, 1992).

2.5. Manutenção Centrada na Fiabilidade

A Manutenção Centrada na Fiabilidade ou *Reliability Centered Maintenance* (RCM) é uma metodologia sistemática utilizada para manter um equilíbrio entre a manutenção corretiva e preventiva. Esta metodologia escolhe a manutenção preventiva a se adotar para um determinado equipamento, num período de tempo correto, de forma a se alcançar a solução mais económica (Yssaad *et al*, 2014).

Stanley Nowlan e Howard Heap da companhia aérea United Airlines introduziram em 1978 o conceito RCM para a indústria de aviação comercial. Atualmente, eles são considerados os *grandfathers* do RCM e os seus princípios ainda são utilizados pelas companhias aéreas. RCM não é nada mais que um processo lógico, para identificar quais os equipamentos que necessitam de um plano de manutenção preventiva em vez de um processo de reparação após danificação. Muitos de vocês já ouviram frases do tipo “não se repara até se danificar” ou “não danifiques com a reparação”. Existe alguma veracidade neste axioma, mas por sua vez é uma abordagem muito superficial caso se queira alcançar níveis de fiabilidade e de segurança adequados para a organização (Bloom, 2006).

Para Dhillon (1999), a RCM é uma metodologia que identifica sistematicamente as tarefas de manutenção preventiva necessárias para garantir na forma mais rentável possível, o nível máximo de fiabilidade e segurança que pode ser esperado de um produto, quando este recebe uma manutenção adequada.

A figura 2.4 traduz as vantagens da Manutenção Centrada na Fiabilidade.



Figura 2.4: Vantagens da aplicação RCM (Adaptado de Dhillon, 1999)

2.6. Fiabilidade

A fiabilidade é a capacidade de um sistema ou componente, desempenhar as condições para o qual está especificado, durante um período de tempo estabelecido. A utilização de componentes menos fiáveis e a inexistência de um plano de manutenção são as principais causas que levam às falhas dos equipamentos. Cada falha inesperada, geralmente tem efeitos nocivos para o meio ambiente e poderá resultar em acidentes mais graves (Kiran et al, 2016).

Para Stanley Nowlan e Howard Heap (1978) a fiabilidade é definida como a probabilidade de um equipamento sobreviver a uma função para o qual foi especificado por um período de tempo, sob determinadas condições, sem falhar.

Já Bloom (2006), dita que a fiabilidade é mais do que a probabilidade de um equipamento sobreviver sem a ocorrência de uma falha. Mais do que simplesmente contar o número de falhas ou o número de dias perdidos resultantes de algum tipo de paragem do equipamento. Para Bloom, é necessário ir além da definição de Nowlan e Heap e ver a fiabilidade como uma medida de eventos, como uma taxa cumulativa e integrada de eventos indesejados por unidade de tempo, onde os eventos não estão apenas limitados às falhas dos equipamentos. Deste modo, a fiabilidade poderia ser medida como a taxa de funcionamento em horas da unidade, no qual representaria um amplo espetro de eventos, em que a sua mensura oferecia uma visão muito mais intuitiva para se determinar o desempenho das instalações.

2.7. Evolução da Fiabilidade

A história da fiabilidade começa por volta da década de 1930, quando os conceitos de probabilidade foram aplicados a problemas de produção de energia elétrica. No entanto, é usual se considerar que o início do campo de aplicação da fiabilidade foi traçado na 2ª Guerra Mundial, quando os Alemães aplicaram conceitos básicos de fiabilidade para melhorar o rendimento dos seus foguetes V1 e V2 (Dhillon, 1999).

Entre o período de 1945 e 1950, a Força Aérea dos Estados Unidos, a Marinha e as Forças Armadas, realizaram vários estudos referentes às falhas de equipamentos eletrónicos, à sua reparação e custos de manutenção. Como resultado das suas descobertas, o Departamento de Defesa Estadunidenses, formou em 1950 um grupo especializado em fiabilidade de equipamentos eletrónicos. Dois anos depois, este grupo ficou conhecido como *Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment* (Grupo Consultor sobre a Fiabilidade de Equipamentos Eletrónicos). Em 1957, publicaram um relatório que incluía os requisitos para os testes de fiabilidade, os efeitos da armazenagem e os limites mínimos de aceitabilidade. O relatório tornou-se assim, um instrumento fundamental para a criação de especificações para a fiabilidade de equipamentos eletrónicos militares (Dhillon, 1999).

No início da década de 1950, desenvolveram-se duas grandes teorias matemáticas acerca da fiabilidade: uma pelo professor Waloddi Weibull que publicou uma distribuição estatística para representar a resistência dos materiais. Outra em 1952 por D. J. Davis, que apresentou a aplicação da distribuição Exponencial Negativa ao estudo da fiabilidade (Dhillon, 1999).

Desde 1950, que a área da fiabilidade se desenvolveu em diversas áreas especializadas, tais como a fiabilidade mecânica, a fiabilidade de *softwares*, a fiabilidade humana. Atualmente existem inúmeras revistas científicas e livros dedicados a este assunto (Dhillon, 1999).

2.8. Análise de sobrevivência

A análise de sobrevivência é uma técnica estatística utilizada para estudar uma ocorrência e o seu calendário de eventos (Allison, 2010). Na análise de sobrevivência, geralmente é referido a variação do tempo como o tempo de sobrevivência, na medida em que, fornece o tempo que o indivíduo “sobreviveu” ao longo de um período de acompanhamento. Normalmente, os eventos são referidos como “falha”, porque os eventos de interesse usualmente são inícios de doenças, falecimento de utentes ou outras experiências individuais negativas (Kleinbaum e Klein 2005).

A análise de sobrevivência pode ser extremamente útil para o estudo de diferentes tipos de eventos, não só nas ciências sociais como também nas naturais, incluindo inícios de doença, falhas de equipamentos, terremotos, acidentes automobilísticos, quedas do mercado de ações, revoluções, prisões, nascimentos, casamentos e divórcios. Este método foi adaptado e utilizado

em diferentes áreas e desse modo pode ser citado de diferentes formas como, análise de eventos da história (sociologia), análise de fiabilidade e análise de tempos de falha (engenharia), análise de duração e análise de transição (economia), (Allison, 2010).

Um dos principais problemas na análise de dados de sobrevivência é a possibilidade de que alguns indivíduos poderão não ser observados a totalidade do tempo até ocorrer a falha. No final de uma observação dos tempos de vida numa indústria, nem todos os componentes poderão ter falhado. Alguns pacientes (muitos, é de esperar) irão sobreviver até ao final do ensaio clínico. Um paciente que faleceu de doença no coração, não pode continuar a morrer de cancro no pulmão. Um indivíduo que é observado durante 10 dias e depois é retirado do estudo, tem um tempo de falha que excede o período de observação. Estes tipos de observações incompletas, de tempos de vida, denominam-se por censura (Cox e Oakes, 1984).

Dados Censurados

Os dados censurados provêm de muitas formas e ocorrem de diversas razões. A distinção mais comum é entre dados censurados à esquerda e dados censurados à direita (Allison, 2010).

- **Censurados à direita:** uma observação sobre uma variável aleatória T é censurada à direita se tudo o que conhecemos acerca de T é que o seu valor é maior que um determinado valor c . Em análise de sobrevivência, T é tipicamente o tempo de ocorrência de um determinado acontecimento, logo a observação é censurada à direita porque o tempo de duração do ensaio termina antes da ocorrência do acontecimento. Em ambas as ciências, sociais e naturais, os dados censurados à direita são mais comuns do que os censurados à esquerda, e a maioria dos programas de análise de sobrevivência dos computadores não permitem a análise de dados censurados à esquerda (Allison, 2010).

Na figura 2.5, está demonstrado um caso simples de dados censurados à direita. Suponha-se que a figura retrata alguns dados de um estudo, em que as pessoas (A, B, C, D, E) recebem uma cirurgia ao coração no tempo 0 e são observadas durante 3 anos. O eixo horizontal representa o tempo (anos). O X indica que ocorreu o falecimento em certo ponto do tempo. A linha vertical posicionada por cima do número 3 é o momento em que foi cessada a observação do estudo. Qualquer pessoa, que tenha falecido antes do ano 3, diz-se que os dados estão sem censura. Analogamente, as pessoas que tenham falecido depois do momento 3, diz-se que os dados são censurados. Deste modo, as pessoas A, C e D não têm os dados censurados, enquanto que as pessoas B e E têm os dados censurados à direita. Observações que contêm este tipo de censura, também são referidas por censura do Tipo I (Allison, 2010).

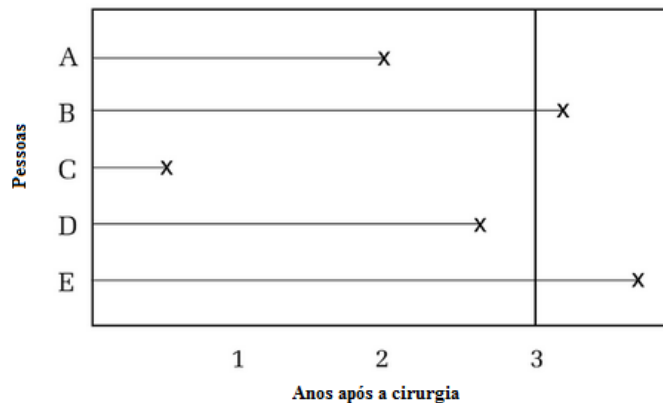


Figura 2.5: Exemplo de dados censurados à direita (Adaptado de Allison, 2010)

Os dados censurados do Tipo II ocorre quando uma observação termina após um número pré-estabelecido de eventos. Por exemplo, se um pesquisador conduz uma experiência com 100 ratos num laboratório e decide que irá terminá-la após o falecimento de 50.

- **Censurados à esquerda:** simetricamente, os dados censurados à esquerda ocorrem quando tudo o que conhecemos acerca da observação de uma variável T é que esta é menor do que um determinado valor. É mais provável ocorrer censura nos dados à esquerda quando se observa uma amostra e alguns dos indivíduos já presenciaram a ocorrência do evento (Allison, 2010).

Na figura 2.6, está representado um exemplo de cada tipo de dados censurados. Repare-se que em x_1 ($x_1 = t_1 - t_0$), está-se perante uma observação censurada à esquerda, já que o evento A decorria anteriormente ao início do período de observação. Em x_2 ($x_2 = t_2 - t_1$), evidencia-se uma observação não censurada e em x_3 ($x_3 = t_c - t_2$) uma observação censurada à direita.

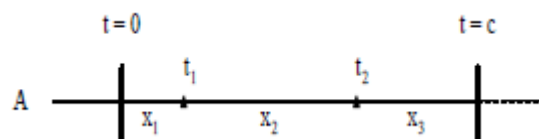


Figura 2.6: Exemplo de dados censurados à esquerda (Adaptado de Requeijo, 2015)

2.9. Análise estatística das falhas

Todas as abordagens padrão para a análise de sobrevivência, são probabilísticas ou estocásticas. Isto é, o tempo de vida é assumido como sendo um processo aleatório. Sendo T , o tempo de vida de um certo indivíduo, esta é uma variável aleatória com uma distribuição de probabilidade.

Existem inúmeros modelos, mas na maioria das vezes o que distingue um modelo de outro é a distribuição de probabilidade para T (Allison, 2010).

Em muitas áreas da estatística, o ponto de partida natural para modelar uma variável aleatória é a distribuição Normal. Isto pode resultar de uma decisão pragmática ou de um argumento teórico baseado no teorema do Limite Central. No contexto da Fiabilidade a distribuição Normal requer algumas precauções na sua aplicação. Tempos desde a última falha ou valores de carga e resistência são valores positivos pelo que a aplicação da distribuição Normal deverá ser encarada com algum cuidado (Requeijo, 2015).

Considerando T uma variável aleatória não negativa, que representa o tempo de vida de um individuo de uma população homogénea, a distribuição de probabilidade T pode ser especificada de diversas formas, três das quais são particularmente úteis no âmbito da fiabilidade: a função fiabilidade ou de sobrevivência, a função densidade de probabilidade e a função de risco (Kalbfleisch e Prentice, 2011).

Função Fiabilidade ou de sobrevivência

A função de Fiabilidade é definida para valores contínuos e discretos, como a probabilidade de T ser maior ou igual que um determinado valor t (Requeijo, 2015):

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad 0 < t < \infty \quad (2.1)$$

$R(t)$ – função de fiabilidade ou de sobrevivência

$F(t)$ - função de distribuição cumulativa

T - Tempo de vida de determinados componentes

Considerando uma população homogénea, a função $F(t)$, também denominada por função de distribuição cumulativa (f.d.c), dá a probabilidade de o tempo de falha, T , ser menor que t :

$$F(t) = P(T < t) = \int_0^t f(u) du \quad (2.2)$$

Note-se, que a função de Fiabilidade ou sobrevivência $R(t)$ é complementar da função anterior, ou seja, da função de distribuição cumulativa (f.d.c).

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T \geq t) = \int_t^{\infty} f(u) du \quad (2.3)$$

Função densidade de probabilidade

Quando as variáveis são contínuas, outra forma comum de descrever as distribuições de probabilidade é através da função densidade de probabilidade (f.d.p), que é definida por (Allison, 2010):

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq X < t + \Delta t)}{\Delta t} = \frac{d}{dt} F(t) = -\frac{d}{dt} R(t) \quad (2.4)$$

$f(t)$ - Função densidade de probabilidade

Δt - Intervalo de tempo

Função de Risco

A função de risco é atualmente mais popular do que a função densidade de probabilidade (f.d.p) como forma de descrever as distribuições. Esta é definida por (Allison, 2010):

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.5)$$

$h(t)$ - Função de risco

Em vez de $h(t)$, alguns autores utilizam outro tipo de denotações como $\lambda(t)$ ou $r(t)$.

O objetivo da função de risco é definir a taxa instantânea de falha em t , dado que o sistema não falhou até t . Em particular, $h(t) \Delta t$ é a probabilidade condicionada de falha em $t, t + \Delta t$, dado que não avariou até t . As funções $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$ e $h(t)$ fornecem especificações equivalentes da distribuição de T . Podem-se deduzir expressões para $R(t)$ e $f(t)$ em termos de $h(t)$ (Requeijo, 2015).

$$h(t) = \frac{\frac{d}{dt}[1-R(t)]}{R(t)} = \frac{-\frac{d}{dt}R(t)}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln R(t) \quad (2.6)$$

Então:

$$-\int_0^x h(t) dt = \ln R(x) |_0^x \quad (2.7)$$

Como $R(0) = 1$, obtém-se

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(u) du} = e^{-H(t)} \quad (2.8)$$

2.10. Sistemas reparáveis

É importante distinguir sistemas reparáveis de sistemas não reparáveis quando se pretende prever a fiabilidade.

Para um sistema não reparável como uma lâmpada, um transístor ou uma nave não tripulada, a fiabilidade é a probabilidade de sobrevivência de um certo item, por um período de tempo esperado, em que apenas poderá ocorrer unicamente uma falha (O'Connor e Kleyner, 2012). Ou seja, os sistemas e componentes não reparáveis são descartados ou substituídos por outros mais recentes quando se verifica a sua falha (Modarres *et al*, 2009).

Por outro lado, um sistema reparável é um sistema que após não conseguir realizar satisfatoriamente uma ou mais funções, pode ser restaurado de forma a adquirir novamente as condições ideais de funcionamento, sem ser necessário a sua substituição (Ascher e Feingold, 1984).

A fiabilidade de sistemas reparáveis pode ser caracterizada pelo tempo médio de bom funcionamento (MTBF), mas apenas em algumas condições particulares, quando a sua taxa de falhas é constante. Muitas das vezes assume-se que as falhas ocorrem num período de tempo constante, no entanto, isto é apenas um caso especial, que poderá levar na maioria das vezes à sua utilização, pelo facto de ser facilmente compreendido (O'Connor e Kleyner, 2012)

Por vezes existem itens que podem ser considerados como reparáveis e não reparáveis. Por exemplo, um míssil é um sistema reparável enquanto está armazenado e sujeito a testes periódicos, mas poderá se tornar um sistema não reparável quando este é lançado. Na análise da fiabilidade de certos sistemas, é necessário ter em conta estes diferentes estados (O'Connor e Kleyner, 2012).

2.10.1. Análise da tendência dos dados

Para o bom funcionamento dos sistemas reparáveis, é importante detetar possíveis alterações no padrão de falhas que ocorrem ao longo do tempo de vida. Por exemplo, o aumento da fiabilidade corresponde a um aumento do tempo entre falhas, enquanto que, os efeitos de envelhecimento na maioria das vezes levam à diminuição do tempo entre falhas.

Uma maneira simples e informativa de se verificar uma possível tendência num padrão de falhas pode ser ilustrada através da figura 2.7 (Limnios e Ionescu, 2012).

A taxa de falhas é uma função importante na análise da fiabilidade, já que esta mostra alterações na probabilidade de falha de um tempo de vida de um componente. Em termos práticos, $h(t)$ muitas das vezes apresenta um aspeto de uma banheira, no qual é referida como curva da banheira. Geralmente, a curva da banheira é dividida em três regiões (Modarres *et al*, 2009).

As falhas exibidas na primeira parte da curva, onde a taxa de falhas é decrescente, é denominada por Fase Infantil. Na parte do meio da curva, dá-se o nome de Fase de Maturidade e é onde apresenta uma taxa de falhas constante. A última parte da curva, onde a taxa de falhas é crescente, dá-se o nome de Fase de Envelhecimento (Smith, 2000).

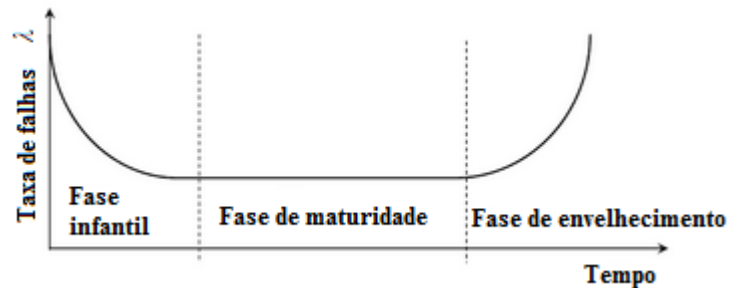


Figura 2.7: Curva da banheira (Adaptado de Modarres *et al*, 2009)

A fase infantil caracteriza-se por ter falhas iniciais atribuídas a defeitos no projeto, fabricação ou construção. A maioria dos componentes não se caracterizam por reunir as tais falhas precoces, esta é uma região da curva representativa da população e não das unidades individuais (Modarres *et al*, 2009).

A fase de maturidade é um período onde a taxa de falhas desce drasticamente e estabiliza no tempo. A origem das falhas neste período fica a dever-se, essencialmente, a fatores como excesso de carga, negligência no uso do equipamento, políticas de manutenção e rigor nas rotinas, bem como a outras causas imprevistas: falhas aleatórias (forçadas e/ou naturais), (Navas, 2015).

A fase de envelhecimento é caracterizada por apresentar fenómenos complexos de envelhecimento. Nesta fase, o componente vai-se deteriorando e está mais vulnerável a choques externos. É importante mencionar, que estas três fases podem ser radicalmente diferentes para outros tipos de componentes (Modarres *et al*, 2009).

2.10.2. Processos estocásticos pontuais

Quando uma sequência de eventos aleatórios ocorre ao longo do tempo, considera-se que se está perante um processo estocástico. Como exemplo, imagine que é conectado um novo componente a uma tomada e quando ocorrer a sua falha é imediatamente substituído por um novo componente, que por sua vez também irá funcionar até ocorrer a sua falha. A sequência destes tempos de falha observados serão modelados de acordo com um processo de contagem estocástica (Bedford e Cooke, 2001).

Segundo Didelet (2003), os modelos estocásticos são essencialmente, modelos pontuais quando aplicados a sistemas reparáveis. Estes apresentam vários tipos de classificações:

- Processos de Poisson Homogêneos (*HPP*);
- Processos de Poisson não Homogêneos (*NHPP*);
- Processos de Poisson Ramificados (*BRP*);
- Processos Renovados (*RP*);
- Processos Renovados Sobrepostos (*SRP*);
- Processos *Birth-Immigration* (*BIP*).

Neste estudo, apenas será realizada a referência a dois destes processos estocásticos, os Processos de Poisson Homogêneos (*HPP*) e os Processos de Poisson não Homogêneos (*NHPP*).

Processos de Poisson Homogêneos (*HPP*)

Em fiabilidade, a taxa de ocorrência de falhas ou simplesmente taxa de falhas é frequentemente denominada por ROCOF (*Rate of Occurrence of Failures*). Esta não deve de ser confundida como apenas a taxa de falha de uma única variável aleatória. Tem como particularidade ser bastante utilizada e relevante na modelagem de sistemas reparáveis (Bedford e Cooke, 2001).

Para os Processos de Poisson Homogêneos o ROCOF é constante e podem-se representar matematicamente por (Requeijo, 2015):

$$\begin{aligned} \rho(t) &= \lambda \\ R(t) &= e^{-\lambda t} \end{aligned} \tag{2.9}$$

λ - taxa de falhas

Se estudarmos a ocorrência de um determinado evento A num intervalo de tempo, em que o evento A representa o número de componentes que falham nesse intervalo, então o Processo de Poisson representa a sequência dos componentes que falham em intervalos de tempo semelhantes.

As seguintes condições deverão ser cumpridas (*Høyland e Rausand, 2009*):

- 1- O evento A pode ocorrer em qualquer momento no intervalo, sendo a sua probabilidade de ocorrência no intervalo $(t, t + \Delta t)$ independente de t . A taxa de ocorrência (m) é constante e representa o número médio de componentes que falham por intervalo de tempo;
- 2- A probabilidade de mais de um acontecimento A no intervalo $(t, t + \Delta t)$ é igual a zero;
- 3- Para uma consequência de intervalos no período desejado, os acontecimentos A são independentes.

Como os acontecimentos são independentes e identicamente distribuídos (IID), a função densidade de probabilidade será dada por (Requeijo, 2015):

$$P(A = x) = f(x) = \frac{e^{-m} m^x}{x!} \quad (2.10)$$

A função densidade de probabilidade exponencial negativa por:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.11)$$

A fiabilidade:

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.12)$$

Processos de Poisson não Homogéneos (NHPP)

O Processo de Poisson não Homogéneo difere do *HPP* na medida em que as suas taxas de falhas variam com o tempo (Ascher e Feingold, 1984). O pressuposto de i.d.d. não é verdadeiro. Logo, poderá apresentar uma taxa de falhas decrescente (fiabilidade crescente) ou uma taxa de falhas crescente (fiabilidade decrescente).

Um sistema que apresenta uma taxa de falhas não constante caracterizar-se-á pelo facto da derivada em cada ponto não ser constante, e, portanto, varia em função do tempo de utilização do sistema (Requeijo, 2015).

As duas formas paramétricas mais aplicadas a sistemas reparáveis são:

$$\rho_1(t) = e^{\alpha_0 + \alpha_1 t}, -\infty < \alpha_0, \alpha_1 < \infty, t \geq 0 \quad (2.13)$$

$$\rho_2(t) = \lambda \beta t^{\beta-1}, \lambda, \beta > 0, t \geq 0 \quad (2.14)$$

2.10.3. Teste de Laplace

Um sistema encontra-se a trabalhar entre um determinado tempo em que são observadas as falhas. Coloca-se a questão se a ocorrência de falhas está a crescer, se é constante ou se está a diminuir. O Teste de Laplace dá-nos a resposta a esta questão (Gaudoin, 1992).

De forma a compreender se um sistema reparável se comporta como um PPH (Processo de Poisson Homogéneo) ou, se pelo contrário, segue um PPNH (Processo de Poisson Não Homogéneo) é essencial a análise estatística da ordem cronológica das falhas para um determinado nível de significância (Dias e Pereira, 2005).

Considerando o pressuposto de i.i.d. (independentes e identicamente distribuídas) verdadeiro, as falhas ocorrem segundo um Processo de Poisson Homogéneo, sendo o intervalo de tempo entre

falhas descrito pela distribuição Exponencial Negativa (do ponto de vista do sistema reparável, e não necessariamente dos componentes nele instalados) (Requeijo, 2015).

Pode-se aplicar o teste limitando-o pelo tempo ou pelo número de avarias. Para um nível de significância de 10% e como se trata de um teste bilateral, temos que $\alpha = 0,05$.

Teste Limitado pelo Tempo

H_0 : Taxa de falhas constante

H_1 : Taxa de falhas não constante

$$Z_0 = \sqrt{12 \times n \bar{f}} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f \times T} - 0,5 \right] \quad (2.15)$$

Em que:

n = número de componentes que falham

T = duração do ensaio

τ_i = idade do sistema para a avaria de ordem i

No pressuposto de um Processo de Poisson Homogéneo, se $Z_0 > \left| Z_{\frac{\alpha}{2}} \right|$ rejeitamos o H_0 .

Assim, para situações onde Z_0 se encontra fora do intervalo de confiança, valores negativos pronunciam a presença de um PPNH com tendência para λ (taxa de falhas) decrescente e valores positivos revelam uma λ crescente (Dias, 2002). A figura 2.8 retrata o Intervalo de Confiança, a Zona de Rejeição e as tendências de λ .

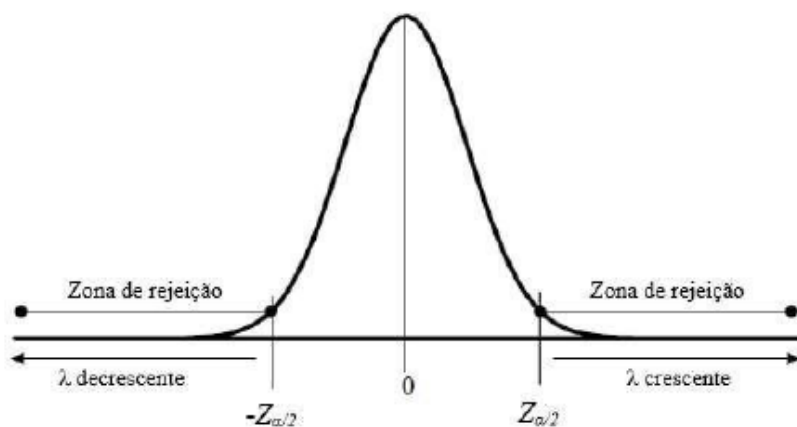


Figura 2.8: Representação da Normal reduzida (Adaptado de Requeijo, 2015)

Teste Limitado por Avarias

Se o teste for limitado às avarias (nf), ter-se-á:

$$Z_0 = \sqrt{12 \times (nf - 1)} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^{nf-1} \tau_i}{(nf-1) \times T} - 0,5 \right] \quad (2.16)$$

A formulação das hipóteses é igual ao teste anterior. Este teste permite analisar se o componente ou sistema segue um Processo de Poisson Homogéneo ou não. No caso mais vulgar, se a taxa de falhas for constante, podemos modelar o intervalo de tempo entre falhas por uma distribuição Exponencial Negativa. Caso contrário temos de utilizar modelos específicos para os Processos de Poisson não Homogéneos (Requeijo, 2015).

2.10.4. Modelo de Crow

O modelo de Crow constitui uma reformulação do modelo de Duane, por forma a permitir testes estatísticos e a definição de intervalos de confiança (Requeijo, 2015).

Larry H. Crow observou que o modelo de Duane poderia ser estatisticamente representado como um Processo de Poisson não Homogéneo (NHPP) através da taxa de falhas da Distribuição de Weibull. Esta extensão estatística tornou-se conhecida por Modelo de Crow-AMSAA (*Army Material Systems Analysis Activity*), por ter sido desenvolvida e aplicada na Atividade de Análise de Sistemas de Material do Exército dos Estados Unidos. A aplicação deste modelo permite realizar procedimentos estatísticos em sistemas que apresentam uma fiabilidade com uma tendência crescente (Lee et al, 2015).

A taxa de falhas $\rho(t)$ será dada por:

$$\rho(t) = \hat{\lambda} \times \hat{\beta} \times t^{(\hat{\beta}-1)} \quad (2.17)$$

A estimação analítica é obtida pelo método da máxima verosimilhança. Se tivermos nf falhas do sistema num tempo T de duração do teste e registarmos os tempos de cada falha τ_i , o valor estimado dos coeficientes não paramétricos do modelo de Crow $\hat{\lambda}$ e $\hat{\beta}$ será dado por (Requeijo, 2015):

$$\hat{\beta} = \frac{nf}{\sum_{i=1}^{nf} \ln \frac{T}{\tau_i}} \quad (2.18)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{nf}{T \hat{\beta}} \quad (2.19)$$

Se o teste for limitado ao nf (número de falhas), com um tempo Tnf , então os coeficientes serão calculados por:

$$\widehat{\beta} = \frac{nf}{\sum_{i=1}^{nf-1} \ln \frac{Tnf}{\tau_i}} \quad (2.20)$$

$$\widehat{\lambda} = \frac{nf}{Tnf \widehat{\beta}} \quad (2.21)$$

Como este modelo é aplicado a *NHPP*, os tempos entre falhas não são constantes, apresentam uma tendência e dessa forma não é possível calcular o *MTBF*. Assim, recorre-se ao denominado tempo cumulativo médio entre falhas (*CMTBF*).

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(t)} \quad (2.22)$$

2.10.5. Indicadores de desempenho

Segundo a NP EN 15341:2009 os indicadores de desempenho têm como função medir o desenvolvimento da Manutenção, sob a influência de diversos fatores, tais como: económicos, técnicos e organizacionais. Estes indicadores servem para a avaliação e melhoria da eficiência e eficácia, de forma a se atingir a excelência de Manutenção dos bens imobilizados.

Existem diversos indicadores de desempenho, mas os mais utilizados são principalmente o *MTBF*, o *MTTR*, a taxa de falhas (*ROCOF – Rate of Occurrence of Failure*) e a Disponibilidade do equipamento.

MTBF - Tempo médio de bom funcionamento ou tempo médio entre falhas

O *MTBF* é um parâmetro muito importante ao nível da Fiabilidade, pois representa a “esperança matemática” das avarias, ou seja, o tempo provável ao fim do qual o equipamento, se utilizado nas condições nominais, avaria (Didelet e Viegas, 2003).

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.23)$$

TBF – Tempo de bom funcionamento

N – Número de avarias verificados no período

λ – Taxa de falhas

MTTR – Tempo médio de reparação

Capacidade de um equipamento ser mantido em boas condições operacionais, e no caso de este falhar, tem por objetivo repor o equipamento nas condições operacionais, com um tempo de reparação o mais curto possível, sempre no respeito das regras de segurança vigentes e normas ambientais em vigor (Navas, 2015).

$$MTTR = \frac{\sum Tri}{N} \quad (2.24)$$

Tri – Tempo de reparação no período

λ – Taxa de Falhas

A taxa de falhas representa o número de falhas por unidade de tempo (Boyes 2009).

$$\lambda = \frac{N}{T} = \frac{1}{MTBF} \quad (2.25)$$

T – Período de funcionamento

Disponibilidade

A disponibilidade de um equipamento é um indicador muito importante, pois permite determinar a percentagem do seu tempo de atividade. Consequentemente a percentagem do tempo operacional do equipamento permite determinar o nível desejado de produção ou de *output* (Kececioglu 2003). Esta é a combinação dos níveis de fiabilidade e manutibilidade de um equipamento.

$$D = \frac{MTBF}{(MTBF+MTTR)} \quad (2.26)$$

2.11. Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull, desenvolvida pelo sueco Waloddi Weibull (1887-1979), começou a marcar o seu triunfante progresso na teoria de distribuições e aplicações estatísticas com uma publicação em 1951. Posteriormente, centenas de autores em todo o mundo contribuíram para o seu desenvolvimento e inúmeras publicações excederam as expectativas até aos dias de hoje (Rinne, 2008).

A simplicidade na sua manipulação e a grande versatilidade em simular outras distribuições estatísticas tem sido a grande atração pelo uso da distribuição de Weibull. Tanto os engenheiros de produção como os engenheiros mecânicos que trabalham em indústrias de produção, têm utilizado a distribuição de Weibull por quase duas décadas (Lihou e Spence, 1988).

A análise à fiabilidade de uma grande variedade de produtos e sistemas de engenharia sugere que os dados dos tempos até à falha tendem a um bom ajuste numa distribuição de Weibull. Deste modo, a distribuição de Weibull é bastante útil para a previsão das falhas dos componentes (Yan, 2015).

A distribuição caracteriza-se por três parâmetros (Requeijo, 2015):

η – vida característica

β – parâmetro de forma

t_0 – parâmetro de localização (vida mínima)

A estimativa dos parâmetros é obtida pelo método da máxima verosimilhança.

Função densidade de probabilidade (f.d.p)

A função densidade de probabilidade será dada de uma forma genérica por:

$$f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1} \left(e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta}\right) \quad (2.27)$$

Consegue-se verificar de forma clara que o parâmetro β , decide dramaticamente a forma da função densidade de probabilidade (f.d.p). Pela figura 2.9 pode-se visualizar, que quando $\beta > 1$, a curva da f.d.p tende para um pico, e quando β decresce, o pico também decresce. Quando $\beta=3\sim 4$, a f.d.p é muito semelhante a uma distribuição normal em que $\beta > 1$ representa uma taxa de falhas crescente. A f.d.p mantém-se constante em $\beta = 1$ e indica que tem uma taxa de falhas constante e possui as características de uma distribuição exponencial negativa. Quando $\beta < 1$, a taxa de falhas é decrescente, ou seja, diminui ao longo do tempo e aproxima-se de uma distribuição tipo Gama (Yan 2015).

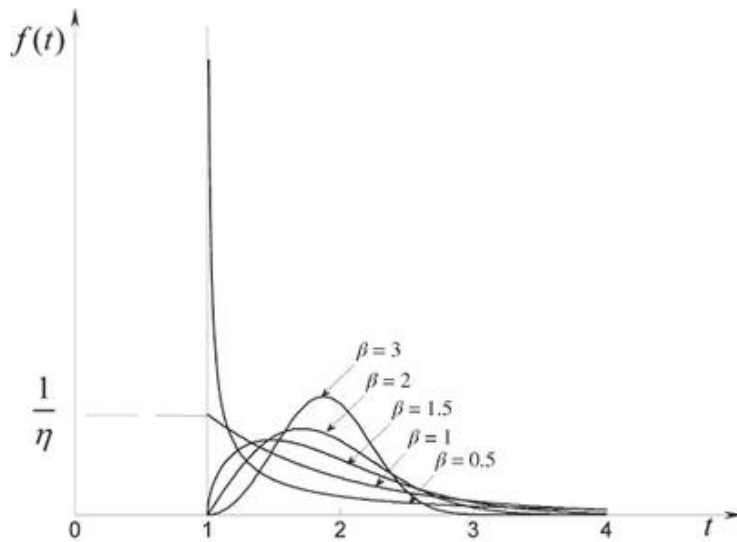


Figura 2.9: F.d.p da distribuição de Weibull ($\eta=1$; $t_0=1$), (Adaptado de Yan, 2015)

Função de Fiabilidade

$$R(x) = e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.28)$$

A figura seguinte, figura 2.10, representa a função de fiabilidade da distribuição de Weibull para diferentes valores do parâmetro de forma (β).

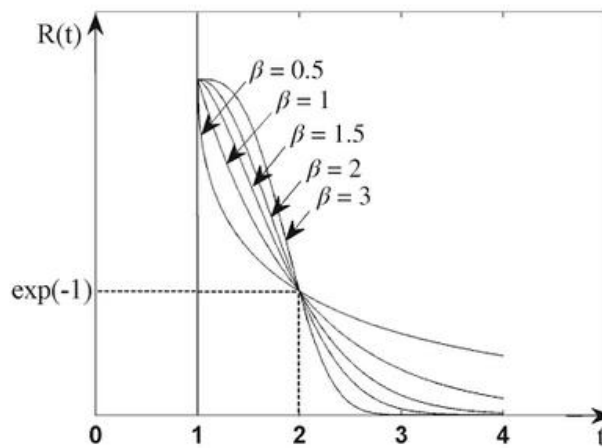


Figura 2.10: Função de Fiabilidade da distribuição de Weibull ($\eta=1$; $t_0=1$), (Adaptado de Yan, 2015)

Função de Risco

A função de risco, representada na figura 2.11, será dada por (Requeijo, 2015):

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{\beta}{\eta^\beta} t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}}{e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}} = \frac{\beta \times t^{\beta-1}}{\eta^\beta} \quad (2.29)$$

Verifica-se que a função de risco aumenta quando $\beta > 1$ e diminui para $0 < \beta < 1$. Para $\beta = 1$ obtém-se $h(t) = \frac{1}{\eta} = \lambda$, parâmetro que representa a taxa média de falhas da distribuição Exponencial.

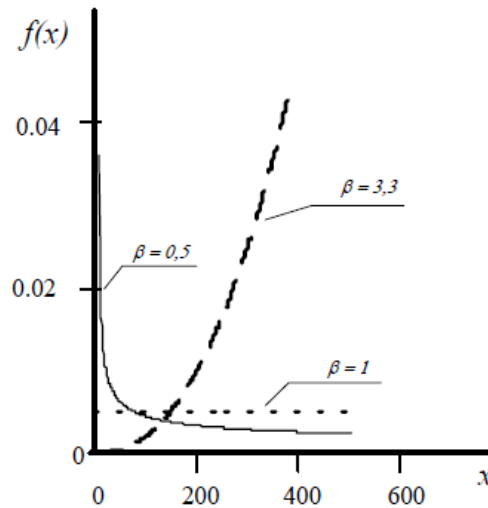


Figura 2.11: Função de Risco da distribuição de Weibull com vida característica igual a 200 horas e parâmetros de forma 0,5;1 e 3,3 (Adaptado de Requeijo, 2015)

O tempo médio entre falhas é dado pela média da distribuição:

$$E(t) = t_0 + \eta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.30)$$

A variância é obtida a partir da seguinte expressão:

$$V(t) = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\} \quad (2.31)$$

2.12. Kanban Project Management - KPM

A palavra Japonesa *Kanban* significa cartão, bilhete ou sinal e foi desenvolvido pela TPS (Toyota Production System), como uma ferramenta de gestão do fluxo de produção e de materiais, seguindo um processo de produção JIT (*Just in Time*), (Cimorelli, 2005).

O *Kanban Project Management* é uma ferramenta simples de gestão visual, utilizada para projetos de média ou baixa complexidade. No KPM, cada tarefa está listada separadamente, por vezes escrita em uma nota adesiva e colocada geralmente num quadro, denominado por *kanban board* (quadro *kanban*). O quadro *kanban* é dividido em quatro ou cinco colunas com as tarefas fixadas na coluna mais à esquerda, seguindo um fluxo para a direita à medida que vão sendo

concluídas ou produzidas. O *kanban* não é aplicado a uma categoria específica, podendo ser adaptada a uma necessidade da organização (Ellis, 2016).

Para além de trazer benefícios, qualquer interveniente com apenas 30 segundos de treino, consegue perceber quando existem demasiadas tarefas numa mesma coluna. Os quadros *kanban*, são simples de utilizar, enquanto que, tanto os gráficos de Gantt como os *Ferver Charts* requerem algum treino e experiência. Para a realização do *kanban board* apenas é necessário um bloco de notas, um quadro e um marcador, em que, com apenas alguns minutos poder-se-á começar a manusear (Ellis, 2016).

Sendo uma excelente ferramenta de comunicação do estado atual do projeto, cada pessoa da equipa consegue obter informação sobre o que os seus companheiros estão a trabalhar. Existe um suporte de melhoria contínua. Os estrangulamentos no projeto são identificados mais rapidamente e dessa forma a equipa pode atuar de modo a melhorar os processos de remoção dos mesmos. As tarefas com alguma dificuldade em fornecer informação, são facilmente identificadas e para além disso, a equipa consegue chegar à raiz dos problemas e eliminá-los de forma a estes não serem recorrentes no futuro (Ellis, 2016).

Como exemplo, a figura 2.12 apresenta um quadro *kanban* dividido em cinco fases e com um fluxo esquerda-direita, no qual começa na fase “pendente” e termina quando “implementado”.

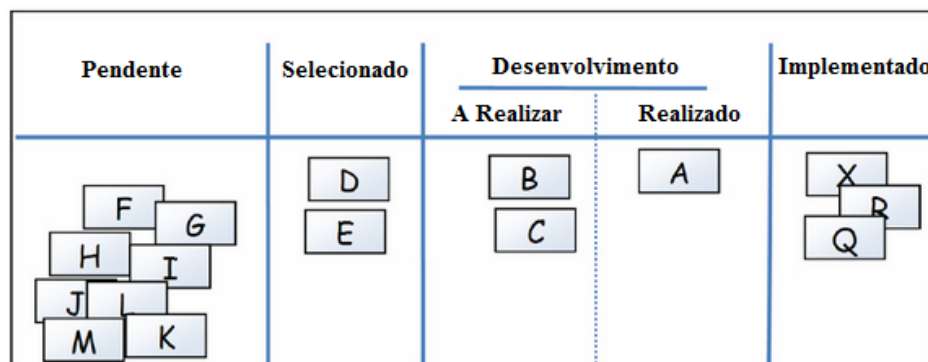


Figura 2.12: Exemplo de um quadro *kanban* (Adaptado de Kniberg e Skarin, 2010)

CAPÍTULO 3 – Caraterização da empresa

Este capítulo destina-se à apresentação da empresa a estudar, de forma a dar a conhecer um pouco da sua história cultural, da sua estrutura organizacional, que tipo de produtos comercializa, que tecnologias e meios possui, em que segmentos de mercado está presente e por fim uma breve descrição pormenorizada do seu fluxo produtivo.

3.1. Apresentação da empresa

A Solancis, iniciada por volta da primeira década de 1900, é uma PME (pequena e média empresa) situada na zona da Benedita, do concelho de Alcobaça, que atua na área da extração e transformação de calcário.

Conta com cerca de 90 colaboradores e possui 12 pedreiras que ficam localizadas nos mais importantes repositórios de formações calcárias em Portugal – o Maciço Calcário Estremenho - onde se procede à extração da matéria-prima.

É atualmente uma das mais importantes empresas nacionais dentro desta atividade, sendo galardoada com diversos prémios como: Prémio Empresa Prestígio (1994 a 1995), Prémio PME Excelência (1998 a 2001), Prémio PME Líder (2009, 2010, 2011) pelo IAPMEI (Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação). Como última referência, foi visitada pelo antigo Presidente da República Aníbal Cavaco Silva, que condecorou com o grau de comendador da Ordem do Mérito Empresarial, Classe do Mérito Industrial, o atual Presidente do Conselho de Administração da Solancis, Samuel Delgado.

A figura 3.1 exhibe as instalações da empresa, na qual se poderá observar a sua dimensão.



Figura 3.1: Instalação da empresa

3.2. História da empresa

De seguida, na figura 3.2, está representado por ordem cronológica alguns marcos históricos que definiram a evolução da empresa até aos dias atuais:

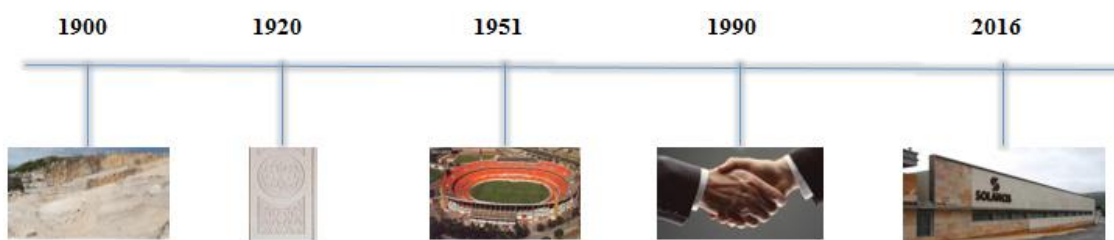


Figura 3.2 Evolução da empresa ao longo dos anos

- **1900:** no início da primeira década de 1900, José Oliveira Delgado começou a explorar a pedreira Vale da Louceira, em Turquel, concelho de Alcobaça. A pedra era extraída e transformada, no próprio local, em pias que serviam para guardar azeite e salgar carne durante todo o ano. Dois homens manejavam alavancas e serrotes, num trabalho diário que lhes valia 7 escudos por dia. O transporte da produção para as terras limítrofes era feito com um carro de bois, chegando a ser necessário um dia para percorrer 30 quilómetros;
- **1920:** Silvino Oliveira Delgado herda o negócio do pai. Com uma macaca e mais tarde com um compressor, dedica-se à produção de cantarias e campas para cemitérios;
- **1951:** Manuel Costa Oliveira Delgado, com 17 anos, encarrega-se da gestão da empresa do pai. O entusiasmo da adjudicação do trabalho de pedra para uma grande obra - a construção do Campo do Benfica (Estádio da Luz) - leva à compra do terreno para a instalação da serração;
- **1990:** a empresa contava com três sócios. Mais tarde, os filhos do sócio fundador – Samuel, Pedro e Helena – assumem a direção. A exportação passa a ser um objetivo determinante e a estratégia, em pouco tempo, revelou-se eficaz;
- **2016:** atualmente a empresa exporta mais de 90 por cento da sua produção e é uma das mais importantes empresas do setor em Portugal.

3.3. Estrutura Organizacional

A Solancis está dividida em diversos departamentos que possuem os seus objetivos específicos. No topo da pirâmide encontra-se a Administração que tem como encargo garantir o cumprimento dos objetivos da organização de forma a manter um nível de sustentabilidade e de competitividade adequado.

Como suporte à Administração, encontra-se:

- o Departamento Administrativo e Financeiro, que tem como missão assegurar a gestão administrativa, económica, financeira e patrimonial da empresa;
- o Departamento de Recursos Humanos que planeia, coordena e executa a gestão de pessoal;
- o Departamento de Produção que como o nome indica gere tudo o que diz respeito à produção da empresa desde a gestão da fabricação (serragem, corte, acabamentos...), à gestão da matéria prima. Simplificando, caso seja necessário o fabrico de algum tipo específico de calcário será realizado um contacto com o Encarregado que tem como encargo comunicar ao Departamento da Extração para lhe expedir o devido material;
- o Departamento de Qualidade, Ambiente, Higiene e Segurança no trabalho;
- o Departamento Técnico e Comercial que coordena os serviços de venda da empresa;
- o Departamento de Compras, Manutenção e Infraestruturas.
- os Encarregados e os Operadores de cada área específica da empresa como a Logística, a Serragem, o Corte, etc.

Pode-se visualizar a partir da figura 3.3, o organograma da empresa de Novembro de 2015.

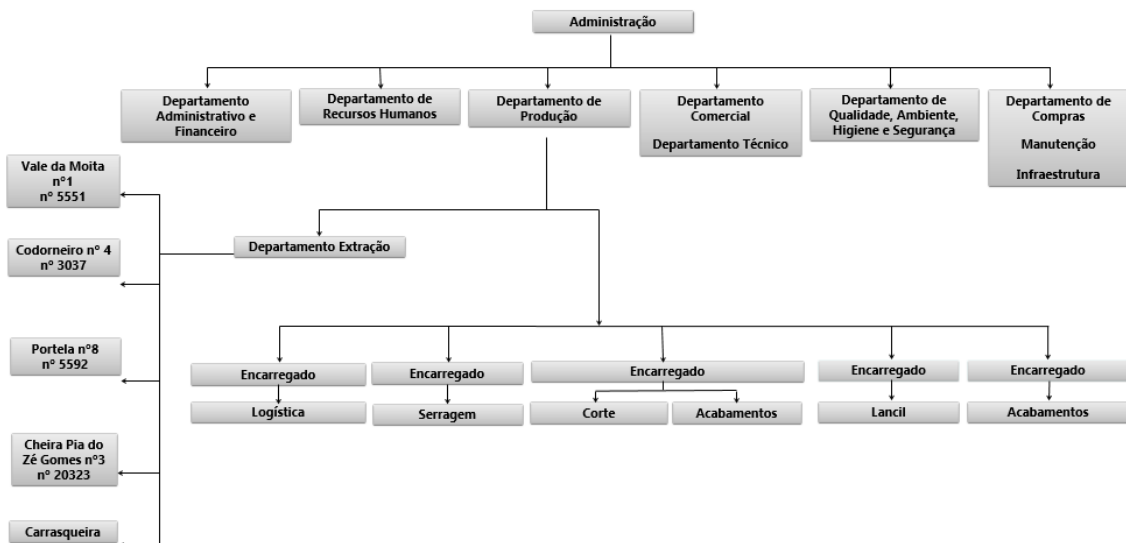


Figura 3.3: Organograma da Solancis

3.4. Produtos

Sendo o calcário português a pedra natural com que a empresa trabalha há mais de cem anos, esta tem como função a sua extração e transformação de acordo com as mais variadas exigências dos seus clientes.

Desta forma, a sua gama de produtos é bastante variável, sendo sempre centrada nas especificações dos clientes podendo diferenciar-se principalmente em três aspetos: tipo de pedra, categoria e tipo de acabamento.

Como exceção, também poderá ser vendida a pedra em bloco ou em chapa, não sendo necessariamente apenas vendida no fim de trabalhada.

3.4.1. Tipos de pedra

A Solancis apresenta um catálogo bastante diversificado no que diz respeito aos tipos de pedra. Estas podem apresentar diversas propriedades físicas, como coloração, ou a sua dureza, que são distinguidas consoante os locais em que são extraídas. Deste modo, o local onde é realizada a extração da pedra será uma referência para o tipo de pedra. De seguida serão apresentadas algumas figuras de tipos de pedra para facilitar a compreensão do assunto.



Figura 3.4: Lioz Coral ou Lioz de Pêro Pinheiro



Figura 3.5: Pedreira Carrasqueira, Pêro Pinheiro, Sintra

- Lioz Coral: conhecida por Lioz Coral ou Lioz de Pêro Pinheiro, é um calcário com tons de coral que é extraído de uma pedreira denominada por Carrasqueira, que se situa em Pêro Pinheiro, Sintra. É a única pedreira da Solancis que não se encontra localizada no Maciço Calcário Estremenho.
- Azul Primavera: conhecida por Azul Primavera ou Vidraço Atáíja Azul, é um calcário cinzento azulado de aspeto homogéneo que apresenta aglomerados dispersos de grãos

finos azulados e veios azulados muito dispersos. É extraída da pedreira Codurneiro localizada em Cruz da Légua, redondezas da Atafja, concelho de Alcobaça.



Figura 3.6: Azul Primavera ou Vidraço Atafja Azul

- Vale Amazona: conhecida por Vale Amazona ou Vidraço Atafja Mix, é um calcário com aspeto compacto que se diferencia por apresentar duas áreas de cores distintas, creme e cinzento azulado. É extraída da pedreira Codurneiro localizada em Cruz da Légua, redondezas da Atafja, concelho de Alcobaça.



Figura 3.7: Vale Amazona ou Vidraço Atafja Mix



Figura 3.8: Pedreira Codurneiro, localizada nas redondezas da Atafja, Alcobaça

3.4.2. Categoria

Desde edifícios clássicos a jardins, fachadas, cantarias, casas de banho, lancis ou ladrilhos, a Solancis oferece toda a sua versatilidade para qualquer tipo de construção no que diz respeito ao calcário. Basta o consumidor final dar a sua palavra e a produção será executada de acordo com as suas exigências.

De seguida, estão representadas algumas construções cuja matéria-prima foi fornecida pela Solancis:



Figura 3.9: Fachada Curva



Figura 3.10: Ladrilho



Figura 3.11: Calçada

3.4.3. Tipos de acabamento

Existem diversos tipos de acabamento, dos quais o cliente poderá usufruir. De seguida serão apresentados alguns exemplos de tipos de acabamento realizados pela Solancis, os quais se destacam: bujardado, flamejado, polido, amaciado, escacilhado, etc.



Figura 3.12: Acabamento Bujardado



Figura 3.13: Acabamento Amaciado



Figura 3.14: Acabamento Escacilhado

Como se pode visualizar, esta grande variabilidade de produção, obriga a empresa a praticar uma filosofia *Just-in-time*, apenas produzir aquilo que lhe é encomendado, já que cada encomenda acarreta elevados custos de produção e cada pedido é único, não sendo possível realizar uma produção *standard* na fábrica. Deste modo é crucial a organização adotar uma filosofia flexível e adaptável a novos recursos, de forma a conseguir responder a todas as exigências por parte dos clientes.

3.5. Mercados

O principal mercado de atuação da Solancis é o calcário, trabalhando com cerca de 98% desta matéria-prima dentro da organização.

Como foi referido anteriormente, cerca de 90% dos seus produtos são exportados para mais de 50 países, entre os quais França, Alemanha, EUA, África do Sul, Rússia... sendo esta uma estratégia estudada pela empresa de forma a contornar a atual crise que avassala o mercado nacional e com isso ganhar um lugar de destaque nesse ramo de atividade.

Atualmente, a Solancis está presente em conceituados patrimónios como o Museu *Petit Palais* e escadarias do *Louvre* em Paris, várias lojas da famosa marca *Hermès* e *Louis Vuitton*, no Parque das Nações e Centro Cultural de Belém em Portugal, como se poderá presenciar pelas figuras seguintes:



Figura 3.15: Centro cultural de Belém



Figura 3.16: Museu *Petit Palais*

3.6. Secção 13 - Lancil

A Solancis acomoda diversas linhas de transformação divididas por diversas secções. A cada secção é atribuído um nome fornecido pelos operadores, em função do que lá é transformado. Para este caso de estudo foi abordada a Secção 13, denominada também pelos operadores de Secção do Lancil, por esta fabricar maioritariamente (cerca de 90%) lancil, bem como outros produtos como por exemplo ladrilho e cantarias.

Esta secção com 1777m² possui cerca de 14 operadores, sendo 2 na área de serragem (1 operador por turno), 5 na área de corte, 1 no empilhador e 6 na área de acabamento manual.

O estudo incidiu sobre esta linha por variados motivos: primeiro pela conveniência da empresa no estudo e implementação de um sistema de gestão da produção, de forma a se controlar em tempo real todo o fluxo praticado dentro da mesma; na identificação dos equipamentos críticos e elaboração de planos de manutenção preventiva devido à sua inexistência; e segundo por ser o sector com maior estabilidade e dessa forma se conseguir prosseguir com o estudo sem grandes variâncias e obter resultados mais rigorosos e precisos.

3.6.1. Layout da Secção 13 – Lancil

Para uma melhor compreensão do processo produtivo, será apresentado primeiro o *layout* da Secção 13 (figura 3.17). Este é dividido principalmente em quatro zonas: armazenagem da matéria-prima, serragem, corte e acabamento.

Para a elaboração do *layout* recorreu-se a um *software* do tipo CAD - desenho auxiliado por computador – Autocad 2016.

A figura 3.17 representa o *layout* da secção 13, o qual é dividido em oito compartimentos.

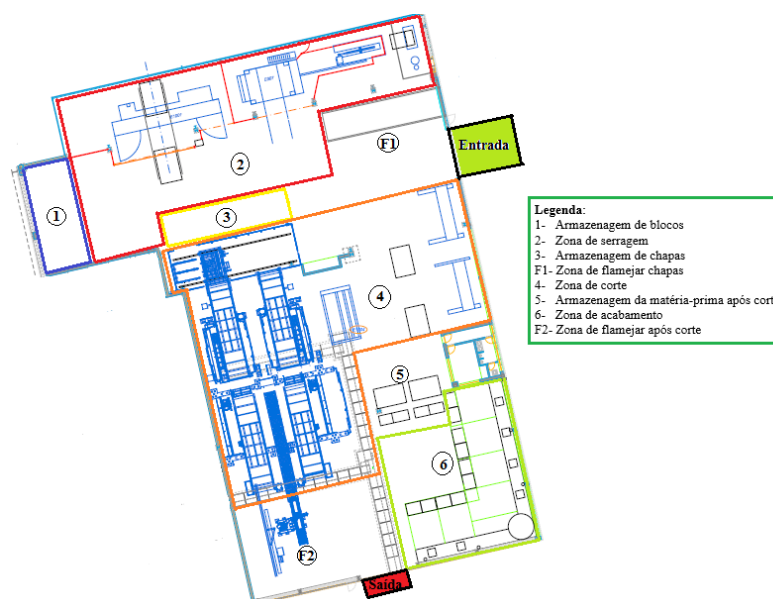


Figura 3.17: Layout da Secção 13 – Lancil

3.6.2. Identificação dos equipamentos

A cada uma das respetivas áreas estão presentes equipamentos que desempenham as funções requeridas pela organização. De forma a facilitar a gestão da informação, cada equipamento possui um código de identificação que facilita a pesquisa e introdução de dados no sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) da empresa.

A secção é composta por cerca de 11 equipamentos e de 8 operadores que os manuseiam. Por turno, apenas estão presentes 6 operadores, no qual existe uma rotatividade entre os operadores da zona de serragem e da zona de corte, para o equipamento Stone Mill, perfazendo dessa forma, o total de 8 operadores. Note-se que não foram contabilizados os operadores que realizam a função de acabamento.

De seguida, na tabela 3.1, pode-se visualizar os equipamentos existentes em cada área da secção, bem como o seu código de identificação e o número de operadores.

Tabela 3.1: Identificação dos equipamentos

Secção 13 - Lancil			
Área	Equipamento	Codificação	Nº Operadores ☺
2 – Zona de serragem	Multifio Diamantado DECAWIRE VT (Pellegrini)	412	2 (1 operador por turno)
2 – Zona de serragem	Engenho Metalonegrais	307	
F1 – Zona de flamejar chapas	Máquina de Flamejar	017	
4 – Zona de corte	Máquina de corte tipo ponte Gregori Impala	078	1
4 – Zona de corte	Máquina de corte tipo ponte Gregori Impala	084	1
4 – Zona de corte	Stone Mill (CNC)	993	2 (1 operador por turno)
F2 – Zona de flamejar após corte	Robot de Corte Multi 40 Fanuc	371	1
4 – Zona de corte	Máquina de ponte Minorça	367	
F1 – Zona de flamejar chapas 3 – Armazenagem de chapas	Ponte rolante 6,3T GH	013	-
1 – Armazenagem de blocos 2 – Zona de serragem 3 – Armazenagem de chapas	Ponte rolante 25T Maceira Lis PR	014	-
Geral	Empilhador Carer Z49 NR	321	1
Total	11	-	8

1 Operador que realiza a função temporariamente até se necessitar

Na figura 3.18 estão identificados todos os equipamentos presentes na Secção 13, bem como a localização dos operadores.

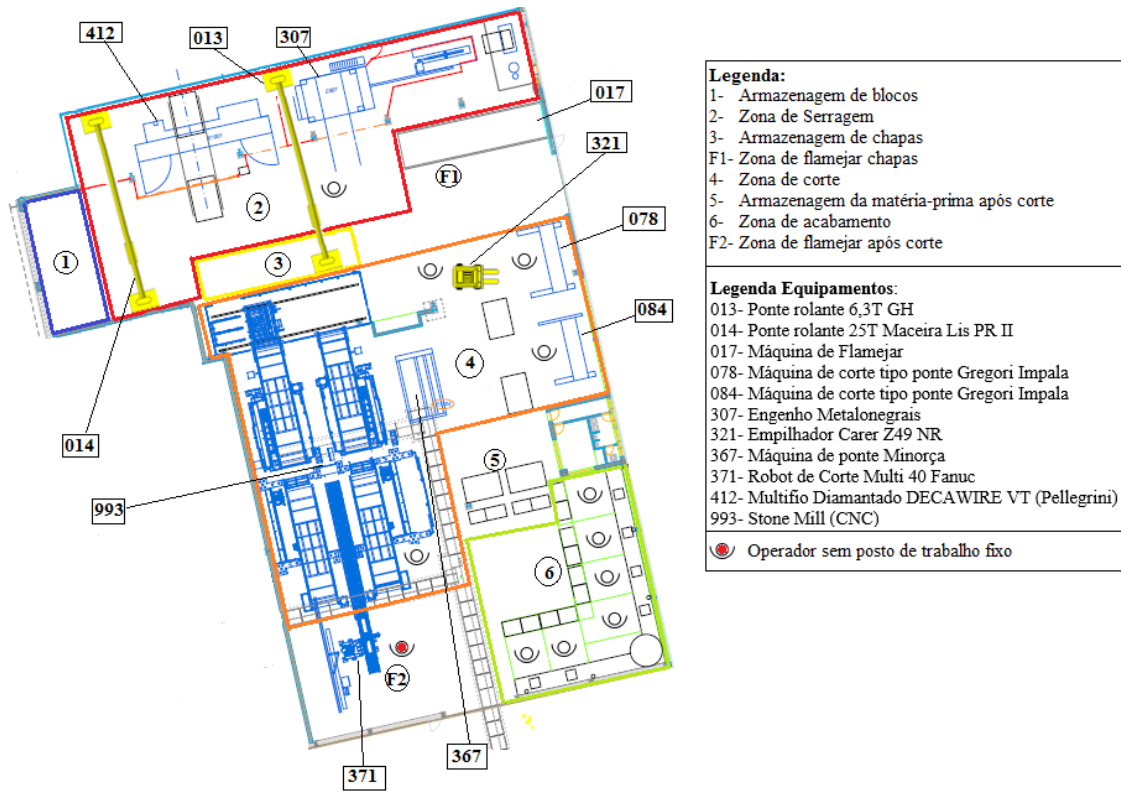


Figura 3.18: Layout da Secção 13 – Lancil com equipamentos identificados

3.6.3. Descrição do processo produtivo

As operações realizadas ao longo da secção 13 encontram-se ilustradas resumidamente na Figura 3.19 – Fluxograma do processo produtivo.

Devido à complexidade e subjetividade do processo produtivo, o fluxograma representado de seguida tornou-se um pouco extenso. Desta forma foi elaborada uma análise detalhada, em que se irá clarificar ponto a ponto cada fase do processo produtivo de forma a este ficar mais compreensível e esclarecedor.

A figura 3.19 representa o mais recente fluxograma do processo produtivo da Solancis.

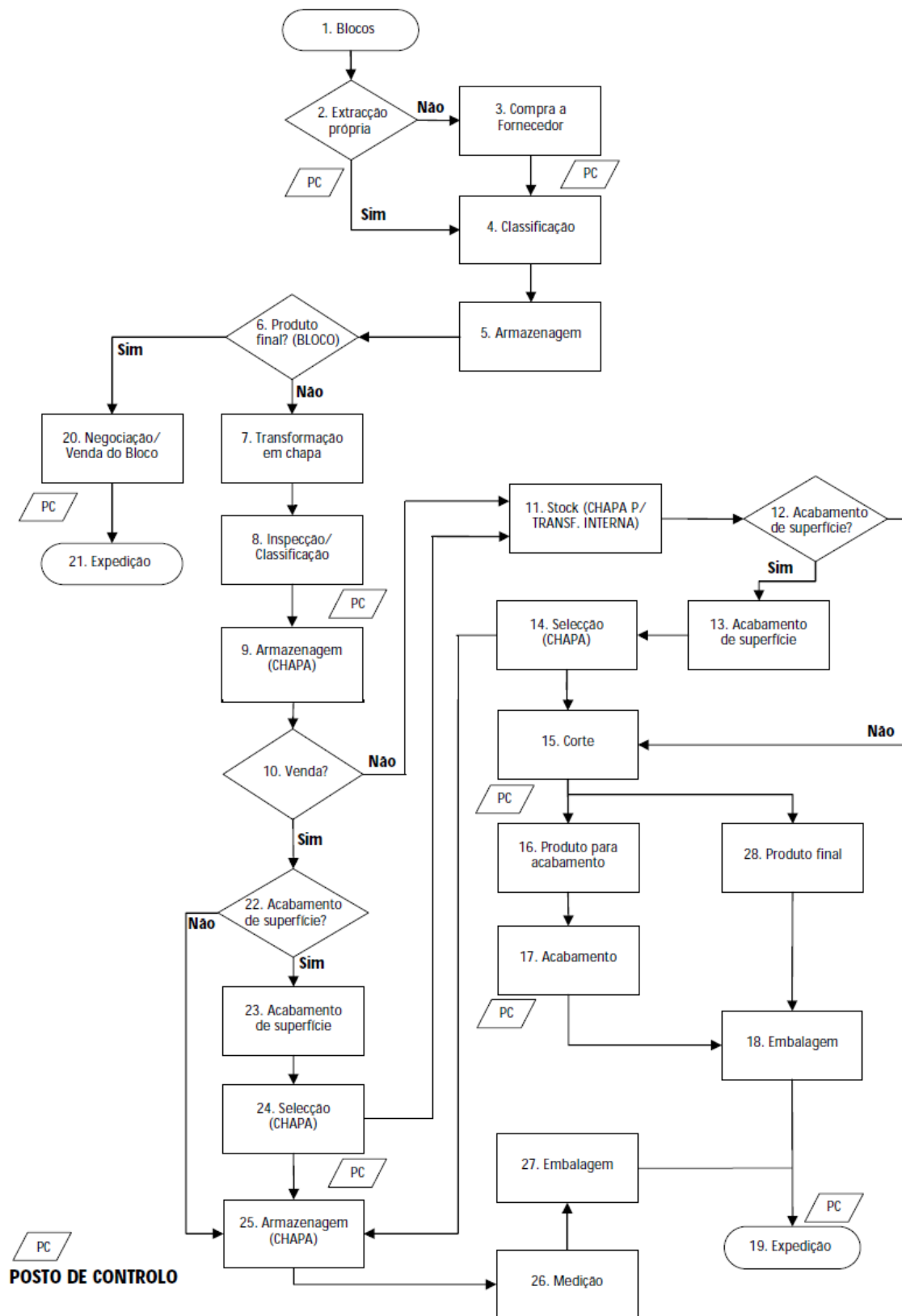


Figura 3.19: Fluxograma do processo produtivo da Solancis


Turnos - A Solancis apresenta três tipos de turnos:

- um turno de funcionamento normal das 8h-17h, com uma hora de almoço das 12h-13h;
- um turno das 5h-13h especificamente para as zonas de serragem e de corte, realizado pelo equipamento Stone Mill (CNC) e;
- um outro turno complementar ao anterior, de forma a não se parar a produção, em que funciona das 13h-21h.

Das 21h até às 5h os equipamentos (Engenhos, Multifios e Stone Mill) são programados para funcionarem em modo automático.

Na tabela seguinte, tabela 3.2, está apresentado os horários de trabalho praticados pela Solancis:

Tabela 3.2: Turnos de trabalho da Secção 13 - Lancil

Secção 13 – Lancil					
Área	Função	Equipamento	Turnos	Horário por turno	Operadores por turno 
Corte	Corte	Máquina de corte tipo ponte Gregori Impala	Um turno	8h-17h	2
		Máquina de corte tipo ponte Gregori Impala			
Corte	Corte	Máquina de ponte Minorça	Um turno	8h-17h	1
Flamejar após corte	Acabamento Robotizado	Robot de Corte Multi 40 Fanuc	Um turno	8h-17h	
Geral	Transporte de matéria-prima	Empilhador Z49 NR	Um turno	8h-17h	1
Acabamento	Acabamento Manual	-	Um turno	8h-17h	6
Flamejar chapas	Acabamento robotizado	Máquina de Flamejar	Dois turnos	5h-13h	1*
				13h-21h	1*
Serragem	Serragem de blocos	Engenho Metalonegrais	Dois turnos	5h-13h	1
		Multifio diamantado		13h-21h	1
Corte	Corte	Stone Mill (CNC)	Dois Turnos	5h-13h	1
				13h-21h	1

*Operadores que realizam a função temporariamente, trocando o seu posto de trabalho.

Interpretação do fluxograma do processo produtivo da empresa Solancis:

- 1- Blocos: O responsável de extração (RE) especifica a necessidade de adquirir blocos de acordo com as encomendas a produzir. Os blocos podem apresentar dimensões variáveis com cerca de 5 a 22ton com a forma aproximadamente paralelepípedica.
- 2- Extração própria?
Sim: caso os blocos necessários sejam de pedreiras da Solancis. Deve informa-se o encarregado da pedreira em questão e fazer a seleção de acordo com as necessidades.
Não: existe a necessidade de comprar blocos ao fornecedor do tipo de matéria-prima pedida.
- 3- Compra a fornecedor: O RE deve comprar blocos ao fornecedor daquele tipo de matéria-prima, respeitando os critérios exigidos para a respetiva obra.
- 4- Classificação: Todos os blocos produzidos nas pedreiras da Solancis são classificados pelos respetivos encarregados. Quando os blocos são de compra, faz-se uma classificação prévia na pedreira e encaminham-se os blocos para a fábrica. Na fábrica, estes blocos são novamente avaliados, e se necessário, reclassificados, depois de devidamente lavados e aparelhados.
- 5- Armazenagem: Depois de classificados, os blocos são armazenados de acordo com o tipo de pedra no parque de blocos ou então direcionados para a Secção 13, caso seja necessário. (Figura 3.18; 1- Armazenagem de blocos). A sua entrega é realizada através de um camião e posteriormente a sua descarga é feita com o auxílio de uma ponte rolante que sustenta até 25 toneladas, como se pode verificar através das figuras 3.20 e 3.21.



Figura 3.20: Descarga dos blocos por ponte 25T



Figura 3.21: Descarga dos blocos

- 6- Produto final? (bloco)

Sim: se o bloco for produto final, segue o caminho de venda.

Não: se o bloco não for produto final, segue o caminho da transformação em chapa.

- 7- Transformação do bloco em chapa (Serragem): Processo onde se inicia a transformação do calcário (Figura 3.18; 2- Zona de serragem). O transporte entre a zona de armazenagem de blocos e os equipamentos de serragem é efetuado através da ponte rolante de 25T. O bloco pode ser serrado em dois equipamentos, no Multifio Diamantado DECAWIRE VT (Pellegrini) ou no Engenho Metalonegrais. A grande diferença entre estes dois equipamentos encontra-se na velocidade de corte, sendo o Multifio Diamantado bastante mais rápido que o Engenho. O tempo de duração da serragem é diretamente proporcional à altura dos blocos. A velocidade de serragem é tanto menor quanto maior for a dureza do calcário e é ajustada manualmente. Estas podem variar entre 50cm/h e 100cm/h para o Multifio e entre 10cm/h e 30cm/h para o Engenho.

Nas figuras 3.22 e 3.23, estão representados os equipamentos Multifio Diamantado e o Engenho Metalonegrais.



Figura 3.22: Multifio Diamantado DECAWIRE VT (Pellegrini)



Figura 3.23: Engenho Metalonegrais

- 8- Inspeção/Classificação: as chapas serradas são inspecionadas e classificadas segundo os critérios definidos para cada tipo de material.
- 9- Armazenagem (chapa): as chapas são armazenadas por tipo de pedra ou por cliente, em espaço reservado para o efeito (Figura 3.18; 3- Armazenagem de chapas). O seu transporte, mais uma vez, é realizado pela ponte rolante 25T.

Na figura 3.24, está apresentado o espaço destinado para a armazenagem de chapas.



Figura 3.24: Armazenagem de chapas

- 10- Venda
Sim: as chapas seguem o procedimento para a venda.
Não: as chapas permanecem em *stock* para a transformação interna.
- 11- Stock (chapa para transformação interna): as chapas que não reúnem os requisitos para venda, ou são necessárias para transformar, ficam armazenadas no seu respetivo espaço para esse efeito.
- 12- Acabamento de superfície?
Sim: as chapas seguem para o acabamento de superfície (máquina de flamejar) através de uma ponte rolante 6,3T, que contém uma ventosa que prende a chapa por vácuo.
Não: as chapas seguem diretamente para a secção de corte.

Na figura 3.35, está apresentado o transporte da chapa por auxílio da ponte rolante de 6,3T.



Figura 3.25: Transporte da chapa por ponte rolante 6,3T com auxílio de uma ventosa

- 13- Acabamento de superfície: as chapas passam na máquina de flamejar a chapa, para efetuarem o acabamento pretendido pelo cliente (Figura 3.18; F1- Zona de flamejar chapas).

Na figura 3.26 está representado o equipamento 017, ou seja, o equipamento de flamejar chapa.



Figura 3.26: Máquina de flamejar

- 14 – Seleção (chapa): ao passar na máquina de acabamento de superfície, as chapas são selecionadas segundo os critérios definidos para cada tipo de material e/ou destino definido. Quando se faz esta seleção, se se verificar que existem chapas com qualidade para venda direta, são armazenadas, se não, seguem para corte.

- 15 – Corte: as chapas são transportadas através de um empilhador elétrico para a zona de corte (Figura 3.18; 4- Zona de corte) e são cortadas em peças com as medidas pretendidas pelo cliente. Existem quatro máquinas na qual a chapa pode ser transportada, dependendo do tipo de corte: duas máquinas de corte tipo ponte Gregori Impala, uma máquina de ponte Minorça e por fim a Stone Mill (CNC). As três primeiras máquinas mencionadas anteriormente, efetuam cortes retilíneos e simples na chapa, não produzindo peças muito complexas. Por outro lado, a Stone Mill realiza cortes retilíneos e curvilíneos e é utilizada para elaborar formatos mais difíceis e arredondados, bastando para isso realizar previamente a programação do equipamento com as especificações fornecidas pelo cliente.

Através das figuras 3.27 e 3.28, é possível visualizar os equipamentos citados anteriormente, a máquina de corte tipo ponte e a Stone Mill (CNC) respetivamente.



Figura 3.27: Máquina de corte tipo ponte Gregori Impala



Figura 3.28: Stone Mill

Na figura 3.29, está apresentado a máquina de ponte Minorça.



Figura 3.29: Máquina de ponte Minorça

Depois de cortadas, as peças seguem por um dos dois caminhos seguintes:

- Produto para acabamento – a peça ainda necessita de um acabamento final;
 - Produto final – a peça está pronta.
-
- 16 – Produto para acabamento: as peças são arrumadas em paletes de encosto e seguem para a zona de acabamento através do empilhador elétrico.



Figura 3.30: Transporte das peças por empilhador elétrico

- 17- Acabamento: as peças podem ser finalizadas de duas formas: ser encaminhadas para um acabador que termina o processo de transformação de forma manual; ou em casos

particulares, as peças devem seguir para o acabamento robotizado, em que neste caso estas irão ser flamejadas e arredondadas nas suas arestas.



Figura 3.31: Acabamento robotizado



Figura 3.32: Acabamento manual

- 18- Embalagem: as peças são embaladas em paletes, ou caixotes de madeira, segundo as indicações do cliente e guardadas em local reservado para o efeito.



Figura 3.33: Peças embaladas

- 19- Expedição: O material é carregado por ordem do cliente e é emitida a guia de remessa e respetiva fatura, que são enviadas para o cliente.
- 20- Negociação/venda do bloco: O bloco é negociado com o cliente, tendo em conta as suas necessidades, o preço e as medidas.
- 21- Expedição (bloco): é feita uma guia de remessa, de acordo com a negociação feita e o bloco é levantado pelo cliente. Depois de expedido o material, é emitida a respetiva fatura e enviada ao cliente.
- 22- Acabamento de superfície?
Sim: as chapas seguem para o acabamento de superfície.
Não: as chapas seguem diretamente para a armazenagem de chapas para expedição.
- 23- Acabamento de superfície: as chapas passam no equipamento de flamejar chapas (Figura 3.18; F1- Zona de flamejar chapas), onde é aplicado o acabamento pretendido pelo cliente.
- 24- Seleção (chapa): ao passar na máquina de acabamento de superfície, as chapas são selecionadas, segundo os critérios definidos para cada tipo de material e/ou destino definido. Quando se faz esta seleção, se se verificar que existem chapas com menor qualidade para venda, mas com características para serem transformadas internamente, estas são direcionadas para a armazenagem de chapas.
- 25- Armazenagem (chapa): as chapas são armazenadas por tipo de pedra, e/ou por cliente, no espaço reservado para o efeito.
- 26- Medição: medem-se as chapas e faz-se o lançamento dessas chapas na encomenda do cliente.
- 27- Embalagem: De acordo com o pedido do cliente e há medida que as chapas vão ficando terminadas, embalam-se em gualhos e são guardadas em local apropriado.
- 28- Produto Final (peça): A peça já é um produto final que não vai ser sujeita a mais nenhuma transformação, podendo, portanto, ser embalada.

3.7. Filosofia de gestão da manutenção na empresa

O departamento de manutenção da Solancis é constituído por cinco técnicos: o encarregado do departamento, um eletricista, um mecânico e dois técnicos responsáveis pelo armazém de manutenção.

Este departamento possui uma oficina onde se realizam as atividades de manutenção dos equipamentos quando possível e um armazém onde estão inseridas todas as peças e ferramentas necessárias para praticar este tipo de trabalho, sendo contabilizadas todas as entradas e saídas de material através do sistema ERP (RPS) da organização.

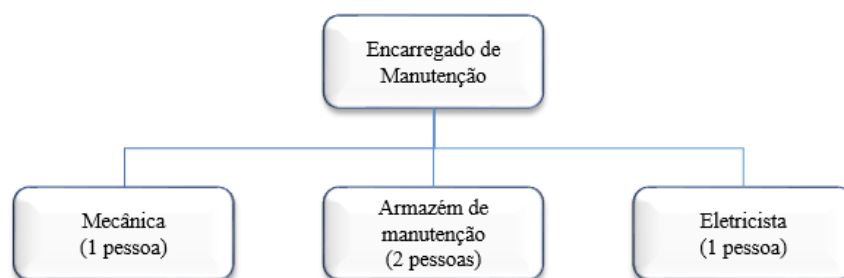


Figura 3.34: Organograma do serviço de manutenção

A Solancis peca por praticar apenas uma filosofia de manutenção do tipo corretivo, não possuindo qualquer plano de manutenção preventiva. Assim, apenas se atua quando o operador deteta uma avaria num equipamento, o que trás diversas consequências para a empresa, como elevados custos de mão de obra, de peças ou serviços de *outsourcing*, bem como perda de produtividade e indiretamente deterioração da imagem da organização.

Um dos objetivos desta dissertação passa pela implementação de planos de manutenção preventiva aos equipamentos críticos, bem como incutir uma nova filosofia de gestão da manutenção, enraizando uma linha de pensamento pró-ativo e com isso aumentar de forma sustentável o ciclo de vida dos equipamentos.

3.7.1. Software de apoio à manutenção

Todas as ações de manutenção praticadas pela empresa são reportadas através de fichas denominadas por OM (Ordem de Manutenção), Anexo 2, que são preenchidas pelos técnicos de manutenção quando finalizam uma reparação. Posteriormente são entregues pelos respetivos técnicos aos responsáveis pelo armazém de manutenção, que têm como responsabilidade inserir a informação das mesmas no *software* de gestão de informação (RPS) da empresa.

O RPS é um sistema integrado de gestão empresarial de origem espanhola, direcionado principalmente para indústrias de fabrico à medida (*Engineer-to-Order*). É constituído por

diversos módulos como o de Faturação, Contabilidade, Compras, Gestão de Stocks... contendo um especificamente para a Gestão da Manutenção. Através desse módulo pode-se gerenciar inúmeras ações, das quais, pesquisar o historial de manutenções realizadas anteriormente por OM, centro de trabalho ou descrição; inserir novas OM; saber custos de manutenção; quem realizou a intervenção; tipo de avaria; materiais utilizadas; manutenções pendentes; duração; planificações de trabalho.

Na figura 3.35 encontra-se um exemplo de uma Ordem de Manutenção realizada para o equipamento 307 (Engenho Metalonegrais).

The screenshot shows the 'RPS - Mantenimiento Industrial - [Órdenes de Mantenimiento]' window. The main form is titled 'Órdenes de mantenimiento' and contains the following data:

- Datos Generales:**
 - Nº Orden: 2368
 - Incidencia / Solicitud: 0
 - Area: 2
 - Utilaje: [empty]
 - Elemento: 1
 - Manutenção: [empty]
 - Centro de Trabajo: 307
 - Zona: 1
- Tiempo:**
 - Tiempo Teórico: 0,00
 - Tiempo reales: [empty]
- Fechas:**
 - Fecha Inicio: 16-10-2015
 - Fecha Fin: 16-10-2015
 - Fecha de Creación: 16-10-2015
 - Fecha Inicio: 16-10-2015
 - Fecha de Preparación: [empty]
 - Fecha de Planificación: [empty]
 - Fecha Fin: 17-10-2015
 - Fecha Cierre: [empty]
- Trabajo a Realizar:** Soldar dientes en laminas do engenho e verificar embraiagem
- Trabajo Realizado:** Desmontar embraiagem. Arranjar veio da rotora novo e motor embraiagem nova
- Otros Datos:**
 - Tipo: Correctivo
 - Nº Operación: [empty]
 - Objeto OLE: [empty]
 - Tipo trabajo: 1
 - Prioridad: 0
 - Acción: 2
 - Proyecto: [empty]
 - Causa Avaria: 4
 - Situación: Terminada
 - Centro Coste: 307
 - Efecto Avaria: [empty]
 - Permiso de trabajo: Si No
 - Puntos de contador: 0,00

Figura 3.35: Ordem de Manutenção no *software* RPS

3.7.2. Manutenção Corretiva - Solancis

Como referido anteriormente, apenas se pratica a manutenção num equipamento quando é detetada uma avaria ou falha no mesmo. Posteriormente é iniciada uma série de procedimentos com o objetivo de se recuperar a capacidade de produção do equipamento o mais rápido possível.

O fluxograma (Figura 3.36: Fluxograma para uma atuação de manutenção corretiva) representa esquematicamente o plano de ação de manutenção corretiva realizada pela organização quando é identificada uma avaria.

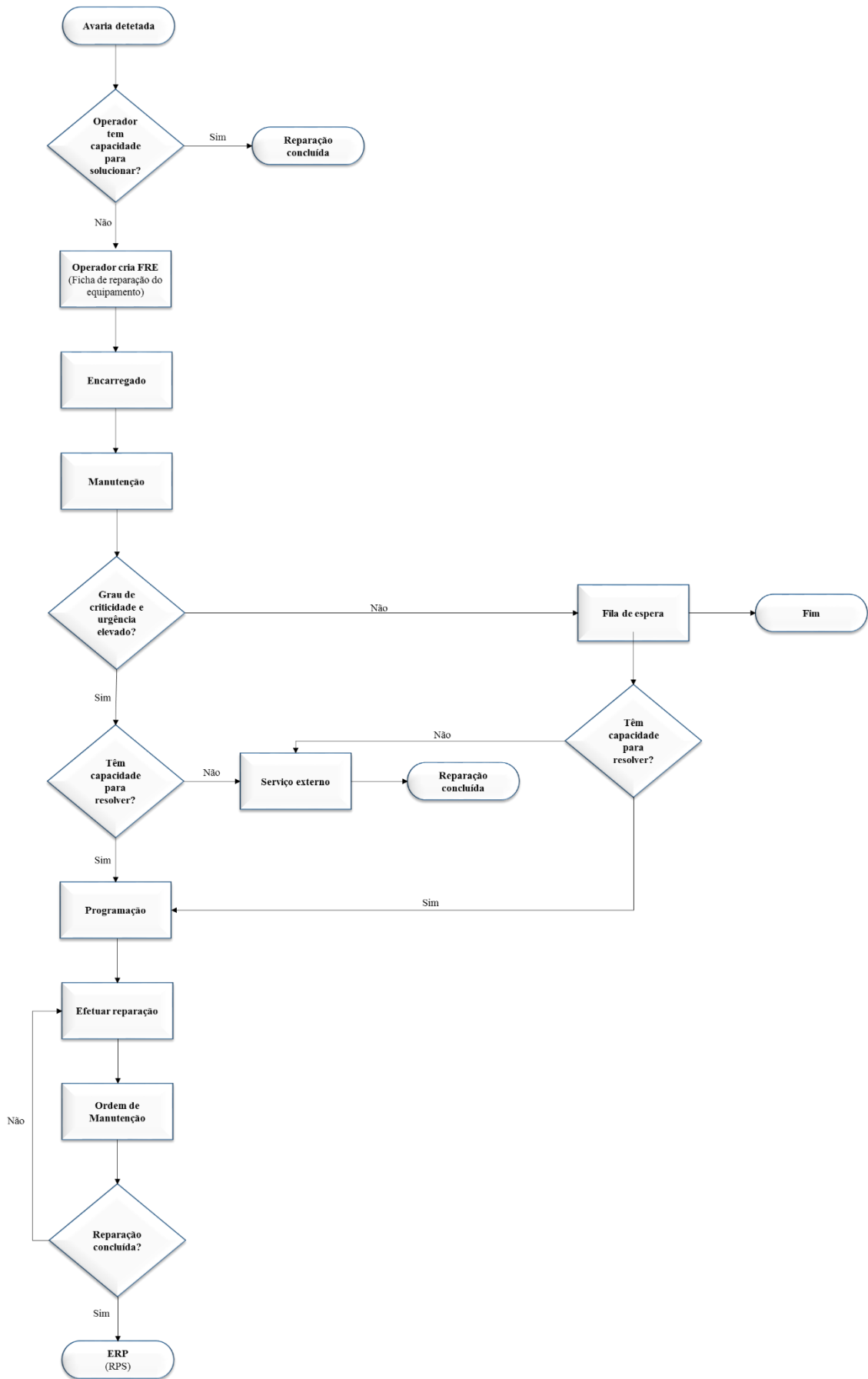


Figura 3.36: Fluxograma para uma atuação de manutenção corretiva

Interpretação da Figura 3.36 - Fluxograma para uma atuação de manutenção corretiva

Sempre que é detetada uma falha ou avaria num equipamento, o operador depara-se com duas possibilidades: ou efetua a reparação do equipamento, ou, caso não seja possível, realiza a criação de uma FRE (ficha de reparação do equipamento), Anexo 1, a qual será entregue ao respetivo encarregado da Secção. Este será responsável por relatar a ocorrência e direcciona-la ao departamento de manutenção.

Uma vez recebida a FRE, o responsável pelo departamento de manutenção irá avaliar o grau de criticidade e urgência com base no seu conhecimento empírico. Caso não seja muito elevado, esta ficará pendente, sendo apenas tratada quando o seu grau de urgência assim o justificar, realizando-se posteriormente um planeamento de forma a se observar que tipo de materiais são proveitosos para a reparação, o seu *stock*, a necessidade de recorrer ao *outsourcing*, etc. De destacar que muitas das FRE são perdidas ou encontram-se pendentes por largos períodos de tempo, devido à sua criticidade não justificar a sua reparação, no que se deduz facilmente mais uma falha de se atuar apenas por manutenção corretiva, resultando daí diversos problemas que poderiam ser resolvidos facilmente, mas que desta pratica resultam quebras de produção desnecessárias para a organização.

Por sua vez, uma criticidade e urgência elevada requer uma atuação imediata. Nestas circunstâncias, caso haja capacidade para se efetuar a reparação, é realizada uma breve programação em que se seleciona o operador e se informa o mesmo do local e equipamento a reparar. Efetuada a reparação é criada uma OM (ordem de manutenção) na qual o operador coloca o local da reparação, o equipamento reparado, causa, data, etc.

Inúmeras vezes a reparação não é concluída no próprio dia devido a diversas causas como falta de material ou longo tempo de reparação do equipamento. Nestes casos, o operador abre a OM, mas não a fecha, enquanto não for terminada por completo a reparação. Desta forma, a introdução de dados no sistema ERP apenas será realizado quando a OM for fechada e entregue ao responsável da manutenção por este encargo.

3.7.3. Pontos críticos detetados e oportunidades de melhoria

À medida que se realizou o estudo, foram identificados diversos fatores que colocam entraves não só no desempenho da manutenção, mas também afetam a disponibilidade dos equipamentos de trabalho e como consequência a produção da empresa.

Assim, surgiu a necessidade de se encontrarem alternativas a fim de se melhorar o desempenho das atividades de manutenção e com isso se elevar o tempo de produção da organização:

- Implementação de uma filosofia de manutenção preventiva: com o aumento da competitividade e intensidade de trabalho apresentado pela empresa ano após ano, existe uma maior dependência pela disponibilidade dos equipamentos, para que, assim se consiga manter um nível de serviço conforme as exigências dos clientes. Desta forma, é imprescindível haver uma mudança no modo de atuar na manutenção, não agindo apenas quando algo de errado ocorre num equipamento, mas sim mostrando essa mesma preocupação ao longo do seu ciclo de vida, praticando planos e rotinas de manutenção periódicas de forma a assegurar o seu bom funcionamento;
- Registos de *outsourcing*: apenas são contabilizadas as ações de manutenção praticadas internamente pela empresa, não havendo qualquer registo de intervenções realizadas por entidades externas à organização. Com isto, perde-se informações relevantes para o histórico de manutenção, como os custos e os tempos de reparação do equipamento, úteis para o cálculo de alguns indicadores como o MTBF (tempo médio de bom funcionamento do equipamento), MTTR (tempo médio de reparação), disponibilidade...
- Fluxo de informação informatizado: criação de um fluxo informatizado de modo a que a informação transmitida seja mais fluida, rápida e segura. Deste modo, consegue-se também reduzir o gap entre o momento em que o equipamento é reparado e o momento em que a OM é fechada;
- Complementar informação nas OM: uma informação preponderante é haver uma classificação do tipo de avaria, ou seja, não basta apenas citar a causa das avarias se não se souber se esta forçou à paragem do equipamento. Assim, deverá estar implícito nas OM um campo que exiba a gravidade da avaria e se esta condicionou ou não a produtividade do próprio equipamento. Com estes dados, será possível estimar alguns indicadores úteis de manutenção, como por exemplo o tempo médio até ocorrer uma falha. Outro aspeto relevante será contabilizar a hora em que ocorreu a avaria como complemento à data em que ocorreu a mesma;
- Contabilizar todas as falhas nos equipamentos: por vezes não são contabilizadas avarias que ocorrem em determinados equipamentos, devido à reparação ser relativamente rápida, o que leva o técnico a deduzir que esta não é muito relevante para o histórico de manutenção.

CAPÍTULO 4 – Proposta de um plano de manutenção preventiva para os equipamentos críticos

Neste capítulo será realizada uma análise ao sistema reparável da Secção 13 e posterior elaboração de um plano de manutenção preventiva, plano esse, que, para a organização era quimérico. Desta forma, proceder-se-á à análise individual de cada um dos equipamentos que compõem o sistema, através da informação recolhida do histórico de dados existente no ERP da empresa, de forma a se verificar quais são os componentes mais críticos, ou seja, que mais contribuem para provocar interrupções ou redução da produtividade na secção.

Será primeiramente utilizado o diagrama de Pareto para se concluir que equipamentos são mais determinantes na ocorrência de paragens, de forma a se estabelecer uma prioridade de atuação. De seguida, avaliar-se-á o comportamento do sistema e dos equipamentos críticos recorrendo-se ao teste de Laplace, no qual se irá verificar se estamos perante um PPH ou um PPNH e com isso analisar qual a tendência da taxa de falhas, se é constante, crescente ou decrescente. Por fim, será elaborado um plano de manutenção preventiva específico para cada equipamento, que dirá a periodicidade de intervenção e as operações a desempenhar/verificar, de forma a se garantir o bom estado de conservação dos mesmos.

4.1. Análise dos equipamentos críticos

De forma a se compreender os equipamentos que mais contribuem para as interrupções da produtividade, procedeu-se à análise de três aspetos essenciais com auxílio ao diagrama de Pareto: nº de falhas, ou seja, todas as falhas que ocorreram nos equipamentos, inclui não só as que forçaram a paragem, mas também aquelas que incapacitaram o normal funcionamento dos mesmos; nº de paragens, todas as avarias que forçaram à paragem do próprio equipamento e tempo de reparação.

4.1.1. Análise do número de falhas

Com a organização cronológica das falhas compreendidas entre 1 Janeiro de 2015 a 31 de Março de 2016, dos 11 equipamentos reparáveis da Secção 13, contabilizaram-se cerca de 136 falhas, das quais 66 obrigaram à paragem dos equipamentos e consequentemente à quebra de produtividade da secção.

De seguida, na figura 4.1, está representada a evolução das falhas dos equipamentos ao longo dos meses. Esta informação, da frequência de falhas mensais dos equipamentos, foi obtida através dos registos das OM introduzidas no RPS da empresa.

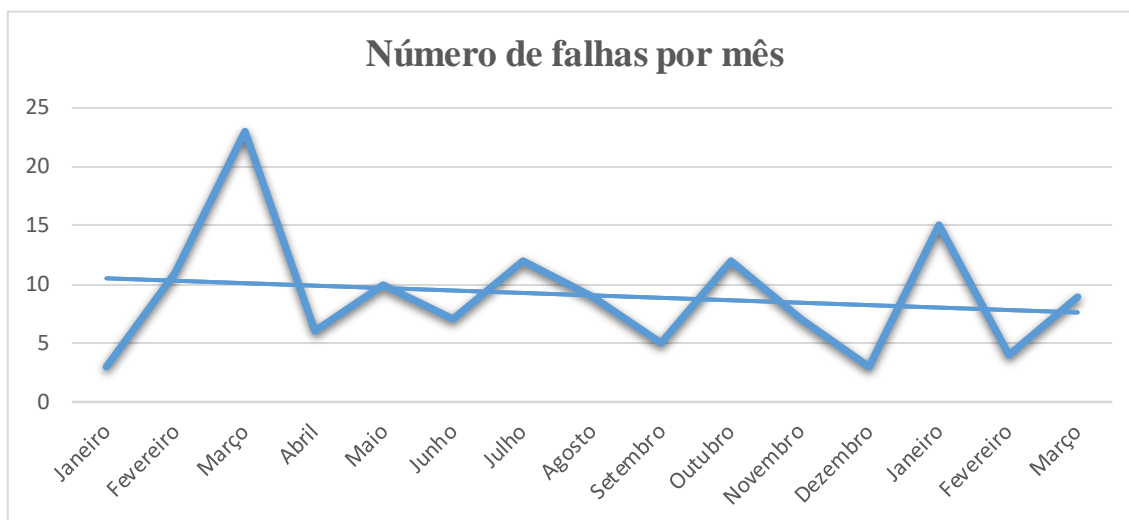


Figura 4.1: Evolução do número de falhas por mês

Como se pode constatar pela curva de tendência, esta vai diminuindo ligeiramente ao longo do tempo, o que traduz uma diminuição do número de falhas e com isso se possa inferir que este resultado foi relativo à introdução de boas práticas na manutenção dos equipamentos.

Esta informação por sua vez é um pouco ilusória, no sentido em que não houve qualquer ação de melhoria na manutenção dos equipamentos durante o tempo de amostragem.

Assim, deduz-se que este efeito seja devido a vários fatores, como a ausência de registos de trabalhos de manutenção *outsourcing* e também de intervenções que foram relativamente rápidas e dessa forma não se contabilizaram no RPS da organização. A não contabilização destes fatores faz com que se perca alguma precisão nos resultados e com isso possa originar conclusões erróneas.

Como foi referido anteriormente, recorreu-se ao Diagrama de Pareto, como instrumento de análise estatística para o estudo da fiabilidade do sistema. Esta ferramenta de qualidade permite analisar os equipamentos que contribuem com cerca de 80% das falhas para a secção 13.

Na figura 4.2, constata-se que os equipamentos Stone Mill, Engenho Metalonegrais, Máquinas de Corte Tipo Ponte Gregori e Robot de Corte Fanuc, são os equipamentos com maior número de falhas entre Janeiro de 2015 e Março de 2016.

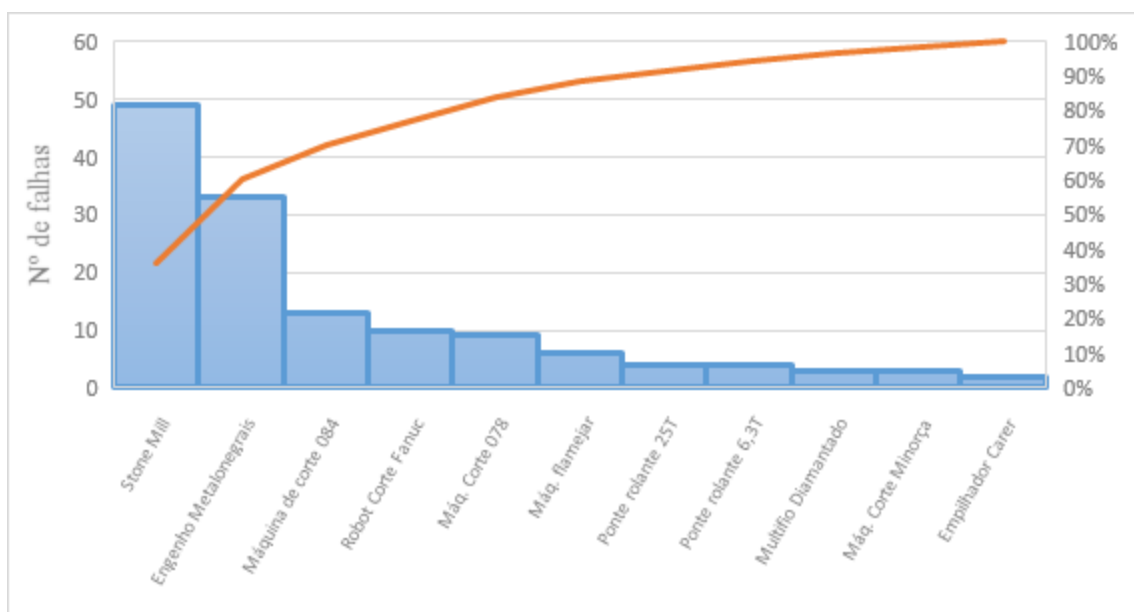


Figura 4.2: Diagrama de Pareto – Número de falhas por equipamento

Em relação aos equipamentos que apresentaram maior número de paragens, ou seja, aqueles que afetaram a produção da secção forçando mais vezes à paragem dos mesmos foram novamente os equipamentos Stone Mill, com cerca de 18 paragens correspondentes a 27,27%, o Engenho Metalonegrais, com 11 paragens (16,67%), seguindo-se a Máquina de corte Tipo Ponte Gregori 084, com 9 paragens (13,64%), o Robot de Corte Fanuc, com 7 paragens (10,61%), a Máquina de corte Tipo Ponte Gregori 078, com 5 paragens (7,58%) e por último a Máquina de Flamejar, com 4 paragens (6,06%).

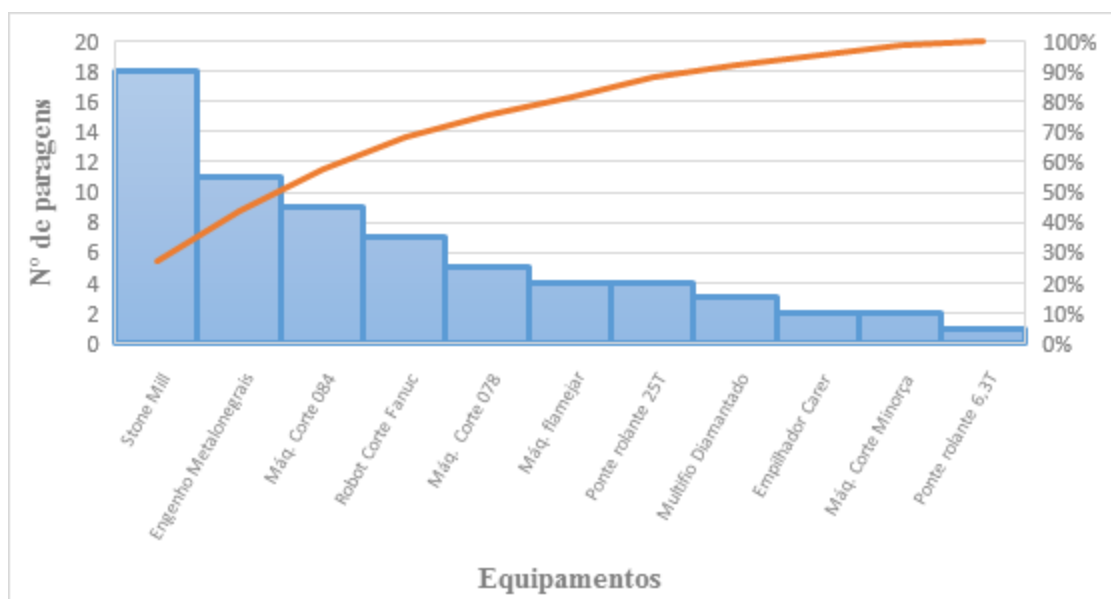


Figura 4.3: Diagrama de Pareto – Número de paragens por equipamento

Estas 66 paragens foram agrupadas em três grupos de tipos de avarias: avarias Mecânicas, avarias Elétricas e Outras.

Na figura 4.4, verifica-se que as avarias Mecânicas foram as mais recorrentes, com cerca de 44 paragens, seguindo-se das Outras com 13 paragens e por último com 9 paragens as Elétricas.

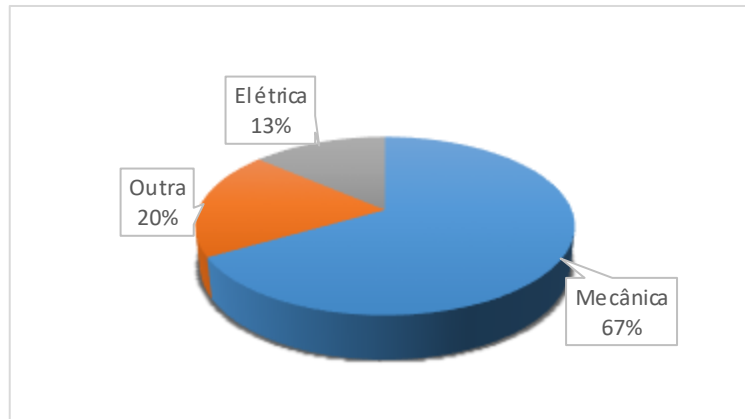


Figura 4.4: Tipos de avaria

4.1.2. Análise dos tempos de paragem

De forma a analisar-se quais os equipamentos críticos para o sistema em estudo, não se pode apenas restringir à frequência de paragens dos mesmos, mas também é necessário apurar quais são os seus tempos de reparação. Não faz muito sentido se citar que um equipamento é mais crítico que outro, apenas por este apresentar uma frequência de paragens mais elevada, visto que, outro equipamento pode ter sido mais gravoso para a produção por ostentar um nível de tempo de paragem excessivo e com isso ser mais prejudicial para com a empresa. Assim, é importante que os equipamentos estejam disponíveis o máximo de tempo possível, tentando-se minimizar os tempos de não produtividade com um tempo de reparação o mais curto possível.

Através do histórico das OM fornecidas pela organização, fez-se uma estimativa do tempo de reparação de cada um dos equipamentos que estiveram em paragem durante o período de observação mencionado anteriormente. Este tempo de reparação inclui não só, a duração da reparação, mas também o tempo de espera até ocorrer a mesma. De facto, estes tempos podem manifestar uma grande variação devido a diversas razões como: longo prazo de entrega de peças para substituição, o que faz com que o tempo de espera até a reparação seja acrescido; indisponibilidade de operadores para realizarem a reparação do equipamento e *gap* entre o momento em que o equipamento é reparado e a OM é fechada, originando com isto um desvio do tempo real de reparação do equipamento.

De seguida, na figura 4.5, é possível verificar-se que os equipamentos que contribuem com cerca de 80% do tempo total de paragem da secção 13 são o Engenho Metalonegrais, com 16,59

dias (47,41%), a Máquina de corte Tipo Ponte Gregori 084, com 7,13 dias (20,38%) e a Stone Mill, com 4,91 dias (14,02%).

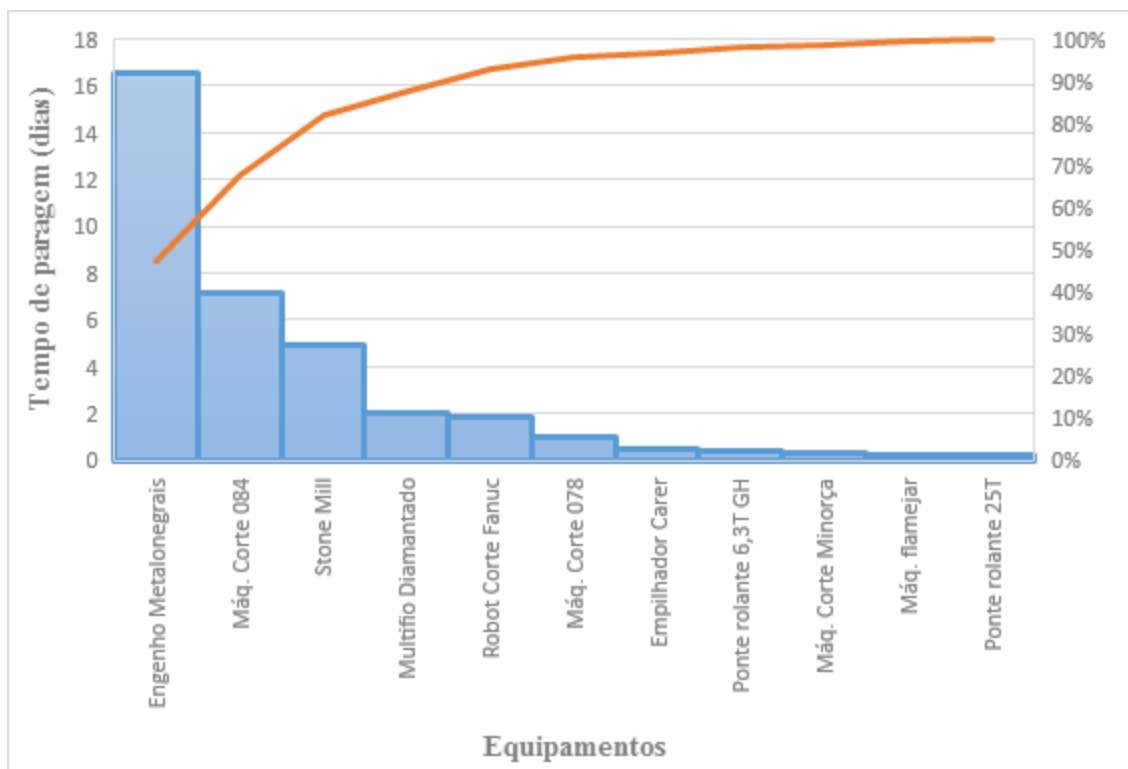


Figura 4.5: Diagrama de Pareto – Tempo de paragem por equipamento

Observando-se os tempos de paragem dos equipamentos, chega-se à conclusão que existe um tempo total de quebra produtiva de 35 dias.

De modo a se compreender o porquê deste elevado tempo de interrupção, foi necessário dividir os tempos de paragem dos equipamentos em tempos de espera para reparação e duração da reparação. Com isto, consegue-se constatar se os elevados períodos de paragem dos equipamentos se devem à reparação do próprio equipamento ou ao tempo de espera para reparação.

Na figura 4.6, apura-se que 22,33 dias do tempo de paragem dos equipamentos e consequente quebra de produção da secção, resultou do tempo de espera para reparação, ou seja, cerca de 63,82% do tempo total de paragem dos equipamentos, enquanto que, relativamente à duração da reparação, obteve-se 12,66 dias, o que perfaz 36,18% do tempo total de paragem dos equipamentos.

Com isto, contempla-se a necessidade de se reduzir os valores do tempo de espera para reparação para um nível satisfatório, de forma a se obter uma melhor disponibilidade dos equipamentos da secção.

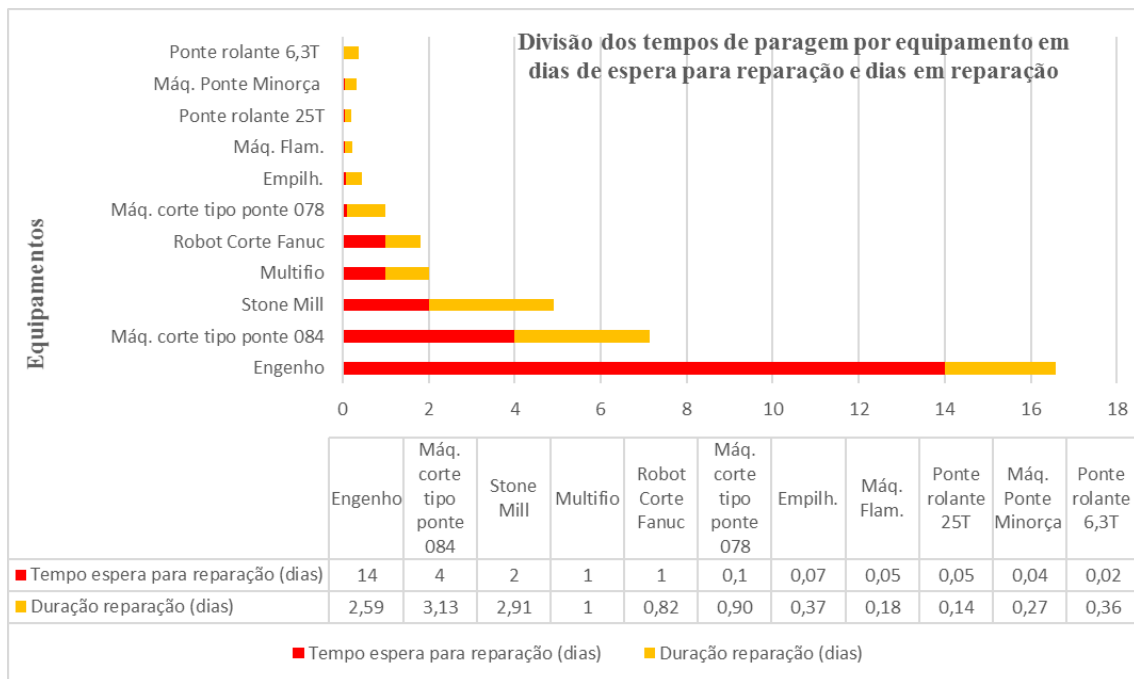


Figura 4.6: Divisão dos tempos de paragem por equipamento

Analisando os equipamentos com os tempos mais elevados de espera para reparação, obteve-se o Engenho Metalonegrais, a Máquina de corte tipo ponte 084, a cnc Stone Mill, o Multifios e o Robot de corte Fanuc com tempos iguais ou superiores à duração da reparação, representando 98.52% do tempo espera para reparação.

Para que se consiga reduzir estes valores para outros mais positivos, será necessário verificar as causas que levaram à interrupção dos mesmos.

4.1.3. Análise das causas das paragens

Com o objetivo de se diminuir os tempos de reparação dos equipamentos e sua frequência de falhas, é crucial identificar-se quais as causas que mais contribuíram para a quebra de produção na secção. Para isso, apenas foram analisadas as causas dos equipamentos com tempos de espera para reparação mais críticos, já que estes representam cerca de 74,63% do tempo total de paragem dos equipamentos e como foi referido anteriormente, contempla-se a necessidade de reduzir estes valores para outros mais satisfatórios, até porque uma porção destes tempos pode ser evitada com um melhor planeamento e organização da manutenção relativamente a acontecimentos como: tempo de espera devido a indisponibilidade de operadores para

reparação; morosa comunicação da situação ocorrente em casos de avaria; ou a inexistência de peças em *stock* para auxílio da reparação.

Na tabela 4.1 encontram-se essas causas, bem como o equipamento, o número de paragens, o tempo de espera para reparação (TER), a duração da reparação (DR) e o tempo total de reparação (TTR).

Tabela 4.1: Causas de paragens na secção 13 dos equipamentos com TER mais críticos

Equipamento	Causa	Nº de paragens	TER (dias)	DR (dias)	TTR (dias)
Multifio Diamantado	Falta de água	1	1	0,25	1,25
Engenho Metalonegrais	Rolamentos danificados	3	3	0,44	3,44
	Avaria na bomba de óleo	1	3	0,31	3,31
	Electroválvula	1	1	0,04	1,04
	Jorra	1	6	0,54	6,54
	Falta de água	1	1	0,25	1,25
Máquina de corte tipo ponte (084)	Motor da bomba hidráulica	2	4	1,51	5,51
Stone Mill	Prato de polir danificado	1	1	0,08	1,08
	Variador do spindle	3	1	0,60	1,60
Robot de Corte Fanuc	Cabo de comunicação danificado	1	1	0,08	1,08
Total	/	15	22	4,12	26,12

Pela tabela anterior verificou-se que as causas que apresentam maior TER são a jorra (6 dias), o motor da bomba hidráulica (4 dias), a bomba de óleo (3 dias) e os rolamentos danificados (3 dias). De modo a se compreender o porquê deste elevado TER, foi realizada uma reunião com os responsáveis pela manutenção da empresa, na qual se retiraram as seguintes conclusões:

Jorra: muitas das suas avarias se devem a problemas eléctricos como cabos, ou problemas mecânicos como o motor ou a caixa redutora, sendo este último o mais frequente. Como se pode visualizar através da tabela anterior, houve uma paragem do equipamento Engenho Metalonegrais devido à jorra, problema este causado pela caixa redutora. A sua reparação contém um TER elevado por a organização não ter material em *stock* devido à cessação da fabricação daquele tipo de material por parte da empresa fornecedora. Assim, foi procedido o envio do mesmo para a empresa provedora de forma a ser realizada a sua reparação.

Motor da bomba hidráulica / bomba de óleo: relativamente ao motor da bomba hidráulica e à bomba de óleo, ambos os seus TER foram elevados pela inexistência de material em *stock*. O tempo de chegada dos materiais solicitados variou entre 2 a 3 dias, o que se infere um tempo excessivo de quebra produtiva resultante do tempo de espera.

Rolamentos danificados: para além de ser a causa que forçou mais vezes à paragem dos equipamentos da secção, também apresentou um TER elevado. Isto deveu-se sobretudo a dois motivos, à inexistência de material em *stock* e à indisponibilidade de operadores para exercer a reparação do equipamento.

Realizada a análise das causas que apresentavam um TER mais crítico, prosseguiu-se para a análise das restantes causas expostas na tabela anterior. Para isso, elaborou-se uma tabela que exhibe de forma resumida o porquê do elevado TER respeitante às causas em questão.

Tabela 4.2: Causas dos TER relativamente às causas de paragem dos equipamentos

		Causas dos tempos de espera para reparação (TER)			
		Indisponibilidade de operadores para reparação	Inexistência de material em stock	Morosa comunicação	Outsourcing
Causas de paragem dos equipamentos	Falta de água	● (2 dias)		●	
	Rolamentos danificados	● (1 dia)	● (2 dias)		
	Avaria na bomba de óleo		● (3 dias)		
	Electroválvula		● (1 dia)		
	Jorra				● (6 dias)
	Motor da bomba hidráulica		● (4 dias)		
	Prato de polir danificado		● (1 dia)		
	Variador do spindle			● (1 dia)	
	Cabo de comunicação danificado	● (1 dia)			
Total de TER (dias)		4 dias	11 dias	1 dia	6 dias

Como se pode observar pela tabela anterior, as causas que mais vezes contribuíram para o elevado tempo de espera para reparação foram a inexistência de material em *stock* (5 ocorrências), seguido da indisponibilidade de operadores para reparação (3 ocorrências), a morosa comunicação (2 ocorrências) e o *outsourcing* (1 ocorrência). De realçar que o *outsourcing* destacado anteriormente, não traduz a vinda de entidades externas à organização para efetuar a reparação dos equipamentos, pois essas situações não são registadas pela empresa, mas sim representa os componentes danificados que são expedidos de forma a serem reparados na fábrica de origem ou pelos fornecedores do material à empresa.

Por sua vez, as causas que mais contribuíram para o aumento do tempo de espera para reparação foram a inexistência de material em *stock* (11 dias), o *outsourcing* (6 dias), a indisponibilidade de operadores para reparação (4 dias) e a morosa comunicação (1 dia) perfazendo um tempo total de reparação de 22 dias como se pode constar na Tabela 4.1: Causas de paragens na secção 13 dos equipamentos com TER mais críticos.

Analisados os tempos obtidos anteriormente, verificou-se que a inexistência de material em *stock* e o *outsourcing* representam cerca de 77,27% do tempo de espera para reparação e cerca de 48,57% do tempo total de paragem dos equipamentos. Assim, implementando-se uma boa gestão do *stock* de peças para reparação e uma filosofia de manutenção preventiva de forma a não se recorrer inúmeras vezes ao *outsourcing*, conseguir-se-ia reduzir para aproximadamente metade, o tempo de paragens dos equipamentos. Este tempo poderia ainda ser reduzido para 62,86% com uma melhoria do fluxo de informação e uma maior disponibilidade dos operadores para reparação dos equipamentos.

4.2. Análise de tendência do sistema reparável – Secção 13

Com base nos registos históricos, compreendidos entre 1 de Janeiro de 2015 e 31 de Março de 2016, das falhas ocorridas na secção 13, analisou-se quais os equipamentos que mais prejudicaram o desempenho produtivo relativamente ao número de paragens e minimização do tempo de produção. Através do auxílio dos diagramas de Pareto constatou-se que os equipamentos mais críticos são o Engenho Metalonegrais, a Stone Mill, a máquina de corte tipo ponte Gregori Impala 084 e 078, o Robot de corte Fanuc e por fim o Multifio Diamantado DECAWIRE. Desta forma, recorreu-se ao teste de Laplace limitado pelo tempo (equação 2.15), onde se realizou uma análise estatística das falhas dos equipamentos críticos, para se determinar a sua tendência, ou seja, se estas apresentam uma taxa de falhas decrescente, constante ou crescente.

Para este estudo, a unidade de tempo utilizada foi o dia, T igual a 299 dias úteis para todos os equipamentos críticos exceto o equipamento Multifios Diamantado, no qual se utilizou um T igual a 43 dias úteis, por este ser introduzido no primeiro dia do mês de Fevereiro de 2016.

Considerou-se um nível de significância de 10% ($\alpha=0,10$), ou seja, para se testar se a hipótese nula (H_0 :PPH) é verdadeira (taxa de falhas constante), os valores de Z_0 têm que estar compreendidos entre os valores de $Z_{\alpha/2}$ ($-1,65 < Z_0 < 1,65$), devido à bilateralidade do teste. Se Z_0 exceder estamos perante uma taxa de falhas crescente ($1,65 < Z_0$) se for menor perante uma taxa de falhas decrescente ($Z_0 < -1,65$).

Através da Tabela 4.3 – Teste de Laplace às falhas dos equipamentos da Secção 13, pode-se verificar os parâmetros e qual a tendência do sistema reparável.

Tabela 4.3: Teste de Laplace às falhas dos equipamentos da secção 13

nf	T (dias)	$\sum \tau_i$ (dias)	Z₀	Z _{crítico}	H ₀	λ
66	299	9482	-0,55	1,65	verdadeiro	constante

Como foi abordado anteriormente, os valores de Z_0 deverão estar compreendidos num intervalo de confiança entre $-Z_{\alpha/2}$ e $Z_{\alpha/2}$, para que se verifique o pressuposto do Processo Poisson Homogéneo. Para este caso, como o Z_0 é igual a $-0,55$ pode-se afirmar com 90% de confiança que não se rejeita a hipótese nula, pelo que estamos perante um sistema reparável com uma taxa de falhas constante. Assim, os tempos entre falhas não apresentam tendência.

Neste caso, como a taxa de falhas do sistema é constante, é possível determinar uma estimativa do MTBF e MTBF mínimo (Θ_i).

Tabela 4.4: Resultados dos indicadores MTBF, MTBF mínimo e taxa de falhas da secção 13

nf	T (dias)	MTBF (dias)	$\chi^2_{\alpha, 2 \times (nf+1)}$	Θ_i (dias)	λ
66	299	4,53	155,36	3,85	0,220751

Como complemento ao teste de Laplace e para se aferir as conclusões relativas à tendência do sistema, realizou-se um gráfico que exhibe o número acumulado de falhas em função do tempo de vida do sistema para o tempo de amostragem considerado.

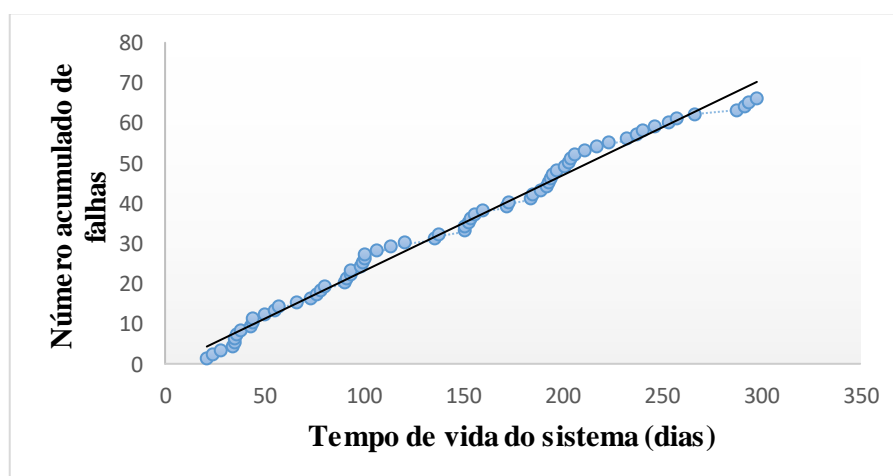


Figura 4.7: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida do sistema

4.2.1 Sistema reparável com taxa de falhas constante

Com os equipamentos críticos identificados, procedeu-se à análise individual da taxa de falhas, com o intuito de se verificar o comportamento dos mesmos. Deste modo, será possível averiguar a fiabilidade de cada um dos equipamentos e estimar o intervalo de tempo da ocorrência das falhas. Assim, foi possível elaborar-se um plano de manutenção preventiva com precisão e coerência de acordo com o comportamento dos equipamentos.

Na figura 4.8 é possível verificar as falhas ocorridas nos equipamentos críticos ao longo do tempo.

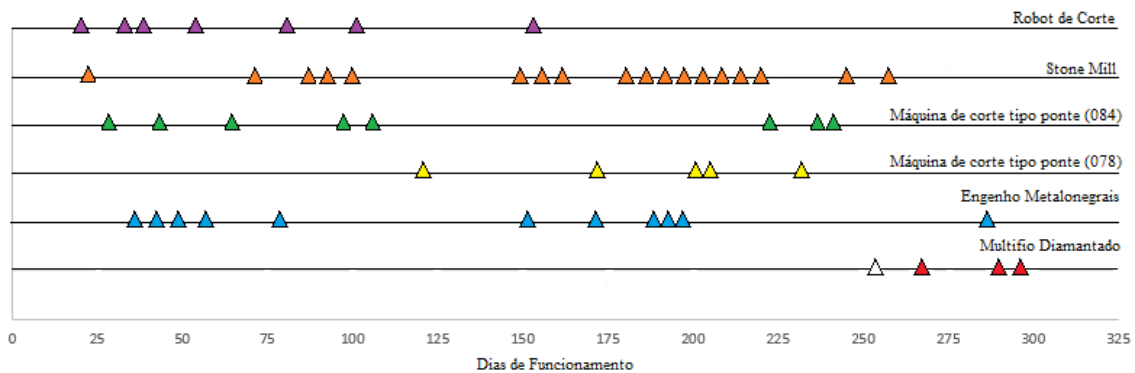


Figura 4.8: Ocorrência de falhas nos equipamentos críticos ao longo do tempo

Através da figura anterior, constata-se que apenas o equipamento Robot de Corte possui um comportamento com uma taxa de falhas decrescente, por este acumular mais avarias no início do período de ensaio. Todos os outros equipamentos apresentam um comportamento semelhante, possuindo uma taxa de falhas constante, em que a ocorrência das avarias vai-se distribuindo pelo período do ensaio de modo mais ou menos uniforme.

De seguida, de forma a se apoiar o que foi redigido anteriormente, está representado o teste de Laplace individual de cada um dos equipamentos críticos.

Tabela 4.5: Teste de Laplace às falhas dos equipamentos críticos

	nf	T (dias)	$\sum \tau_i$ (dias)	Z0	Zcrítico	H0	λ
Stone Mill	18	299	2940	0,68	1,65	verdadeiro	constante
Engenho Metalonegrais	11	299	1455	-0,66	1,65	verdadeiro	constante
Máquina de corte (084)	9	299	1091	-0,98	1,65	verdadeiro	constante
Máquina de corte (078)	5	299	934	0,97	1,65	verdadeiro	constante
Multifio diamantado	3	43	89	1,14	1,65	verdadeiro	constante

Para os equipamentos discriminados na tabela 4.5, verificou-se que os seus valores de estatística de teste estão compreendidos entre $-Z\alpha/2$; $Z\alpha/2$ ($-1,65 < Z_0 < 1,65$), pelo que não se rejeita a hipótese nula (H_0 : PPH). Dessa forma, constatou-se que estão perante um Processo de Poisson Homogéneo, com taxa de falhas constante, para um nível de significância de 10%. Assim, os tempos entre falhas dos equipamentos não apresentam tendência. Como a taxa de falhas dos equipamentos é constante, é possível determinar uma estimativa do MTBF e MTBF mínimo (Θ_i).

Tabela 4.6: Resultados dos indicadores MTBF, MTBF mínimo e taxa de falhas dos equipamentos com taxa de falhas constantes

	<i>nf</i>	T (dias)	MTBF (dias)	$\chi^2_{\alpha, 2 \times (nf+1)}$	Θ_i (dias)	λ
Stone Mill	18	299	16,61	49,51	12,08	0,060205
Engenho Metalonegrais	11	299	27,18	33,20	18,01	0,036792
Máquina de corte (084)	9	299	33,22	28,41	21,05	0,030102
Máquina de corte (078)	5	299	59,80	18,55	32,24	0,016722
Multifio diamantado	3	43	14,33	13,36	6,44	0,069784

Analisados os resultados apresentados na tabela 4.6, concluiu-se que o equipamento Multifio diamantado apresentou o menor MTBF e de modo consequente o menor MTBF mínimo (Θ_i), com cerca de 14,33 dias e 6,44 dias respetivamente, por este exibir mais avarias num intervalo de tempo menor. Por outro lado, relativamente aos equipamentos que apresentaram o mesmo período de observação, ou seja, aqueles que estiveram sob observação desde o início até ao fim do período de amostragem (299 dias), apura-se que o equipamento Stone Mill é o que apresentou o menor MTBF e MTBF mínimo, com cerca de 16,61 dias de média entre falhas e 12,08 dias como tempo médio mínimo entre falhas.

Seguindo a mesma lógica de estruturação apresentada para o sistema reparável – secção 13, foi elaborado como complemento ao teste de Laplace, de modo a se aferir as conclusões relativas à tendência dos equipamentos, gráficos que exibem o número acumulado de falhas em função do tempo de vida do equipamento, para os equipamentos retratados anteriormente.

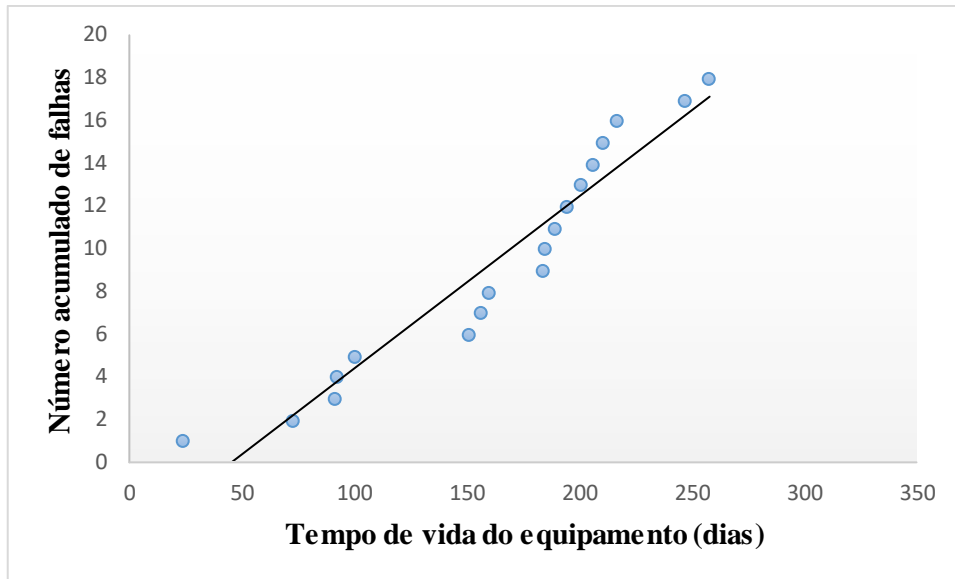


Figura 4.9: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida do equipamento Stone Mill

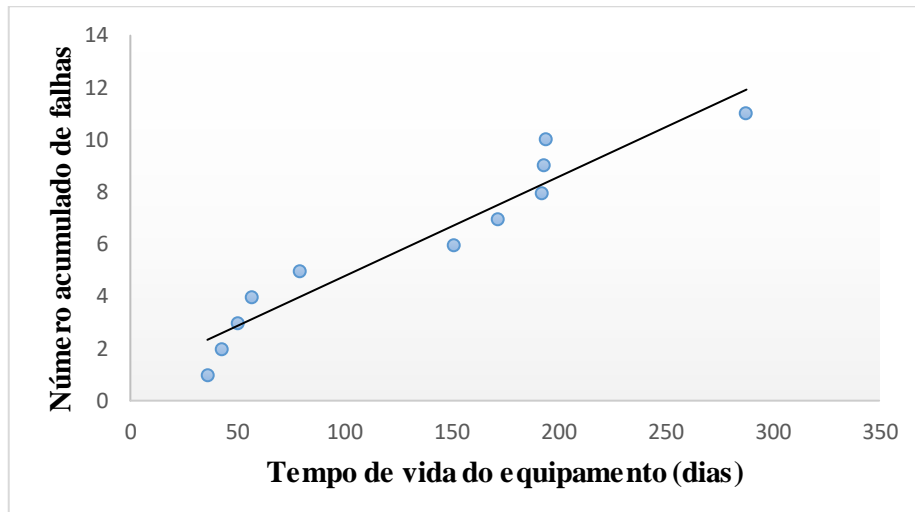


Figura 4.10: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida do equipamento Engenho

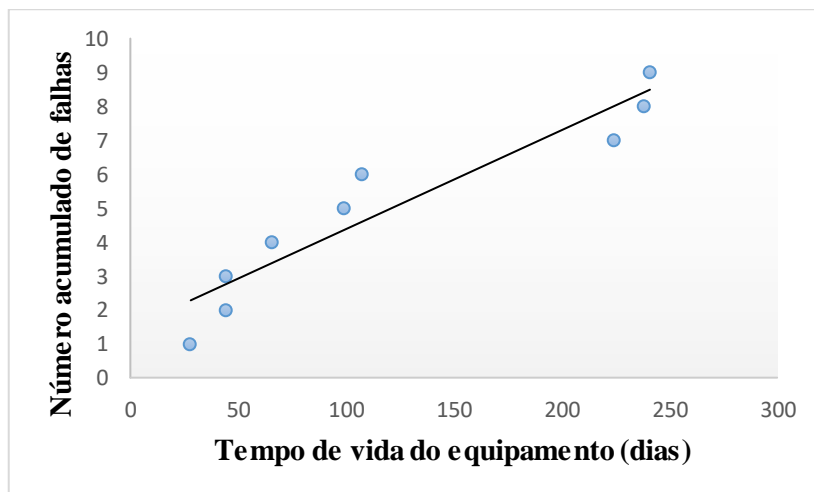


Figura 4.11: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida do equipamento Máq. Corte 084

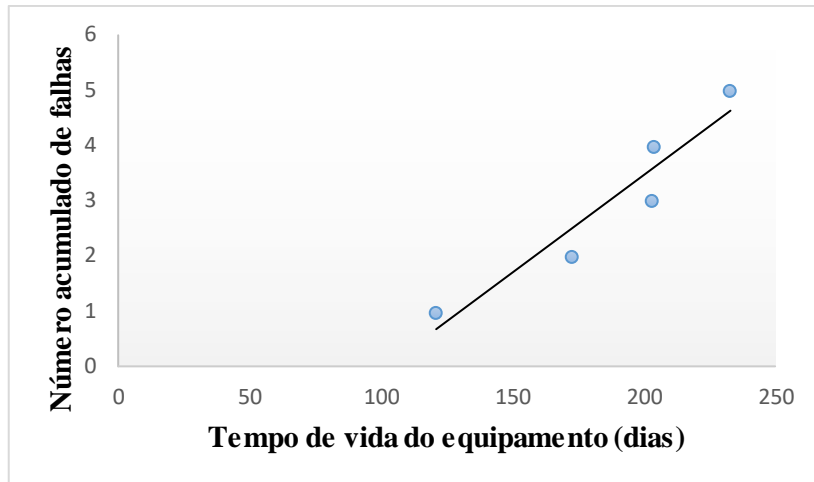


Figura 4.12: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida do equipamento Máq. Corte 078

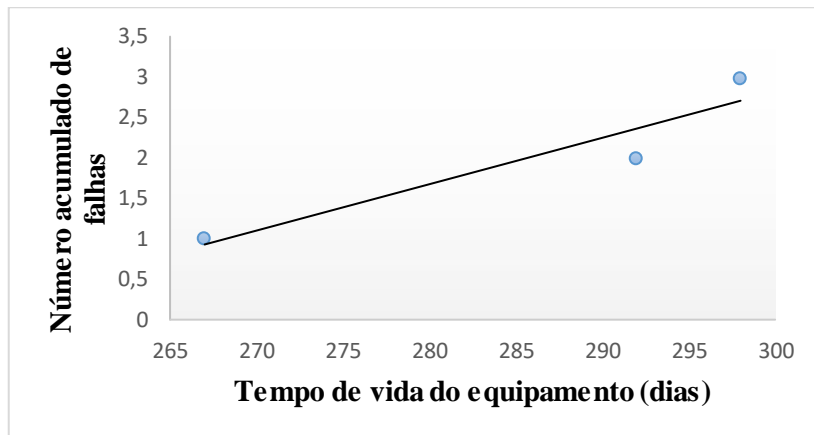


Figura 4.13: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida do equipamento Multifio

Para sistemas reparáveis com taxas de falhas constantes, a fiabilidade para um determinado intervalo de tempo pode ser determinada recorrendo à distribuição exponencial negativa (equação 2.9). Decidiu-se representar a fiabilidade de cada um dos equipamentos graficamente (figura 4.14), de forma a se verificar com maior clareza a diferença de ambos ao longo do tempo.

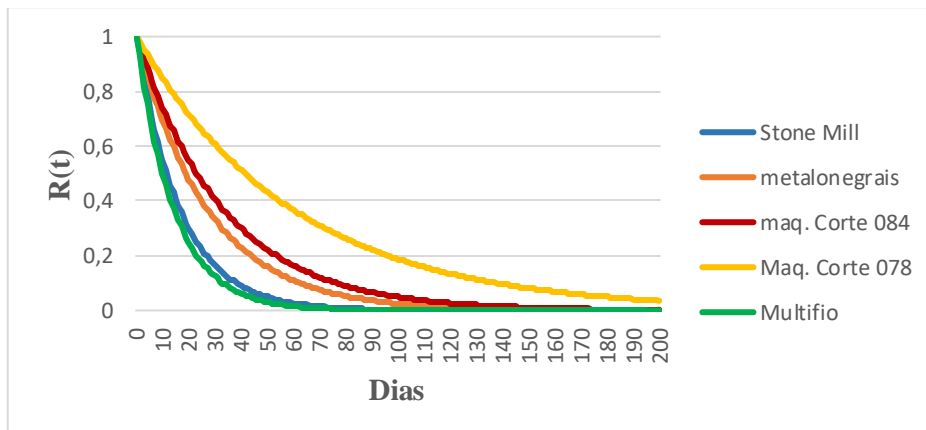


Figura 4.14: Fiabilidade dos equipamentos Stone Mill, Engenho, Máq. Corte 084, 078 e Multifio

4.2.2 Sistema reparável com taxa de falhas decrescente

Tabela 4.7: Teste de Laplace às falhas do equipamento Robot de corte Multi 40 Fanuc

nf	T (dias)	$\sum \tau_i$ (dias)	Z0	Zcrítico	H0	Λ
7	299	484	-2,46	1,65	falso	Decrescente

Para o equipamento Robot Fanuc, concluiu-se através do teste de Laplace, que este se comporta segundo um PPNH, ou seja, rejeita-se a hipótese nula ($H_0: PPH$), já que $Z_0 = -2,46 < Z_{0,05} = -1,65$ para um nível de significância de 10%. Os intervalos de intervenção vão sendo maiores e com isso a fiabilidade do equipamento encontra-se a melhorar ao longo do tempo.

Como se trata de um equipamento que se comporta segundo um PPNH, que apresenta uma tendência decrescente nas suas taxas de falha, não foi possível efetuar o cálculo do MTBF devido ao intervalo entre falhas não ser constante. Neste caso, a sua modelação foi realizada através do Modelo de Crow, em que se estimou através deste o tempo cumulativo médio entre falhas (CMTBF). A estimação analítica é obtida pelo método da máxima verosimilhança.

A partir das seguintes equações, foi possível calcular o parâmetro de forma (β), (4. 3), a estimativa das taxas de falhas (4.1) e respetivo CMTBF (4.2).

$$\rho(\tau) = \hat{\lambda} \hat{\beta} T^{\beta-1} \quad (4.1)$$

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(\tau)} \quad (4.2)$$

$$\hat{\beta} = \frac{nf}{\sum_{i=1}^{nf} \ln \frac{T}{\tau_i}} = 0,60250 \quad (4.3)$$

Para valores de $\beta < 1$, indica que estamos perante um PPNH, com uma taxa de falhas decrescente, ou seja, com uma tendência para um aumento dos intervalos de tempo entre falhas.

$$\hat{\lambda} = \frac{nf}{T^{\hat{\beta}}} = 0,22569 \quad (4.4)$$

$$\rho(\tau) = \hat{\lambda} \hat{\beta} T^{\beta-1} \leftrightarrow \rho(299) = 0,22569 \times 0,60250 \times 299^{0,60250-1} = 0,01411 \quad (4.5)$$

$$CMTBF = \frac{1}{\hat{\lambda} \hat{\beta} T^{\beta-1}} = 70,87 \text{ dias} \quad (4.6)$$

O Robot Fanuc apresenta um CMTBF de 70,87 dias, o que, sensivelmente a cada 71 dias ocorre uma falha neste equipamento. Embora pareça um tempo cumulativo médio entre falhas um pouco elevado comparativamente aos outros equipamentos, o que por si só já é prazeroso para a

empresa, pode por outro lado ser enganador, visto que este equipamento nem sempre está em funcionamento nas horas normais de trabalho, devido à particularidade dos pedidos dos clientes, o que por vezes não é necessário realizar um tipo de acabamento flamejado na pedra.

Com o valor do CMTBF encontrado, foi possível calcular os limites inferior e superior através da fórmula apresentada abaixo. Os valores das constantes π_1 e π_2 foram obtidos através da tabela Modelo de Crow – Teste Limitado pelo Tempo em Anexo 3.2.

Tabela 4.8: Teste limitado por tempo – Limite inferior e superior de confiança

Limite Inferior $\theta_i(T)$	Limite Superior $\theta_s(T)$
$\theta_i(T) = \hat{\theta}(T)\pi_1$	$\theta_s(T) = \hat{\theta}(T)\pi_2$

Na tabela 4.8, está representado o valor do CMTBF, bem como a estimação dos seus limites inferior e superior.

Tabela 4.9: Valor do CMTBF e dos seus limites inferior e superior

Robot de Corte Multi 40 Fanuc		
Limite Superior	$\theta_s(T)$	233,37
CMTBF (dias)	$\hat{\theta}$	70,87
Limite Inferior	$\theta_i(T)$	29,20

Uma vez mais, como complemento ao teste de Laplace e para se aferir as conclusões relativas à tendência do sistema, realizou-se um gráfico que exhibe o número acumulado de falhas em função do tempo de vida do sistema para o tempo de amostragem considerado.

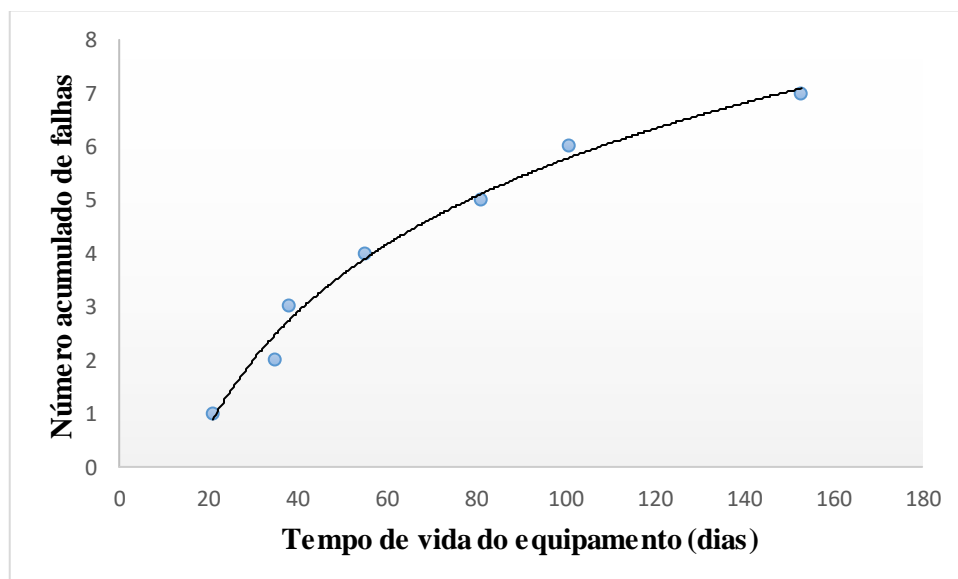


Figura 4.15: Número acumulado de falhas em função do tempo de vida do equipamento Robot Fanuc

De seguida, pode-se verificar graficamente o aumento da fiabilidade do equipamento ao longo do tempo, ou seja, houve um aumento nos intervalos de intervenção.

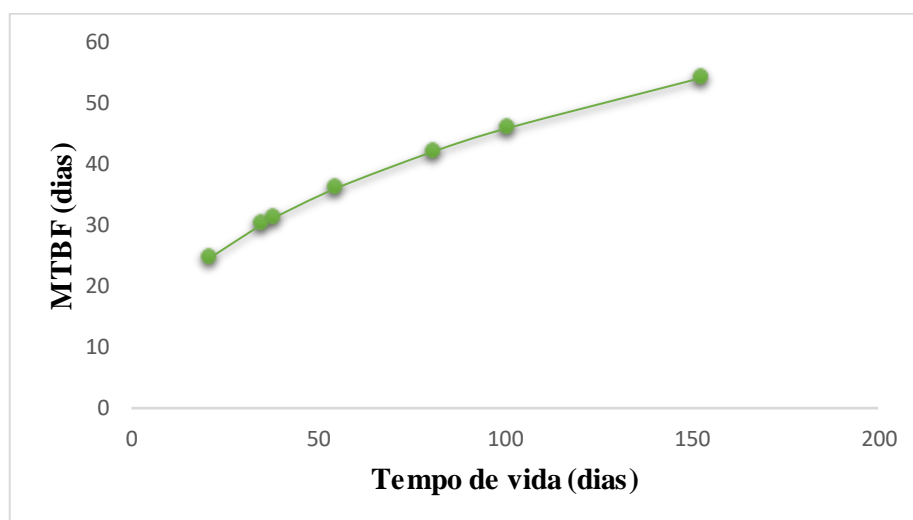


Figura 4.16: Valores do MTBF em função do tempo de vida do equipamento Robot Fanuc

4.3. Análise da disponibilidade do sistema

Calculados os indicadores MTBF/CMBTF e obtidos os valores dos tempos médios de reparação dos equipamentos (MTTR) através da consulta dos dados no RPS, foi possível estimar a disponibilidade de cada um dos equipamentos e da respetiva secção através da expressão (2.26). Na tabela 4.10 podem ser observados os tempos médios de reparação, bem como a disponibilidade de cada um dos equipamentos.

Tabela 4.10: Disponibilidade dos equipamentos com base nos indicadores MTBF e MTTR

	MTBF (dias)	CMBTF (dias)	MTTR (dias)	Disponibilidade
Engenho Metalonegrais	27,18	/	1,51	94,74%
Multifio diamantado	14,33	/	0,67	95,53%
Máquina de corte (084)	33,22	/	0,79	97,68%
Stone Mill	16,61	/	0,27	98,40%
Robot Fanuc	/	70,87	0,26	99,63%
Máquina de corte (078)	59,80	/	0,20	99,67%
Secção 13	4,53	/	0,53	89,53%

Resumindo, o equipamento Engenho Metalonegrais é aquele que manifesta maior criticidade na disponibilidade, cerca de 94,74%, não sendo o que possui menor MTBF, mas por um lado o que apresenta maior valor relativamente ao MTTR. Isto, devido às suas causas apontarem um tempo de espera para reparação elevado sobretudo pela inexistência de material em *stock* ou pela espera do *outsourcing* à reparação dos equipamentos como se pôde verificar anteriormente a partir das tabelas (Tabela 4.1: Causas de paragens na secção 13 dos equipamentos com TER mais críticos) e (Tabela 4.2: Causas dos TER relativamente às causas de paragem dos equipamentos).

Por outro lado, o equipamento Máquina de corte (078) é o que apresenta uma disponibilidade mais elevada (99,67%), exibindo um tempo de ocorrência entre falhas alongado comparativamente aos outros equipamentos, por este apresentar principalmente um tempo de espera para reparação reduzido (0,1 dias), e como se tinha constatado anteriormente, este tempo teve um grande impacto na disponibilidade dos equipamentos.

Deste modo, foi estimado que a secção 13 expressa uma disponibilidade a rondar os 89,53% o que demonstra um pouco a gravidade da situação, na medida em que não estão contabilizadas as paragens dos equipamentos que foram reparados por entidades externas à organização.

4.4. Seleção dos equipamentos para o plano de manutenção preventiva com o auxílio do método Ipinza

Como complemento ao Diagrama de Pareto e ao teste de Laplace, foi decidido realizar o método Ipinza, com o intuito de se determinar quais os equipamentos que são alvo de um plano de manutenção preventiva.


Este método tem como particularidade avaliar determinados parâmetros dos equipamentos e atribuir uma pontuação consoante as suas características.

Com o auxílio dos operadores de manutenção, foi possível obter uma pontuação plausível, devido ao conhecimento empírico dos mesmos, mas nunca esquecendo que se trata de um método subjetivo e que estará sempre sujeito a algumas imprecisões.

O método foi aplicado aos equipamentos críticos destacados anteriormente pelo Diagrama de Pareto, de modo a se implementar gradualmente um plano de manutenção sem perturbar muito os recursos humanos, técnicos e económicos da empresa.

De seguida, está representado a aplicação do método ao equipamento Multifio Diamantado DECAWIRE como exemplo. Para os restantes equipamentos, encontra-se em Apêndice 1.

Tabela 4.11: Método de Ipinza aplicado ao equipamento Multifio Diamantado DECAWIRE

Multifio Diamantado DECAWIRE (Pellegrini)		
Caraterística	Condição	Pontuação
Efeito na produção	Pára	4
	Reduz	2
	Não pára	0
Valor técnico-Económico do equipamento	Alto	4
	Médio	2
	Baixo	1
Prejuízos – Consequência da Avaria	i) À máquina em sim	
	Sim	2
	Não	0
	ii) ao processo	
	Sim	3
	Não	0
	iii) ao pessoal	
Risco	1	
Sem risco	0	
Dependência logística	Estrangeiro	2
	Local	0
Dependência de Mão-de-obra	Terceiros	2
	Própria	0
Probabilidade de Avaria	Alta	1
	Baixa	0
Facilidade de Reparação	Alta	1
	Baixa	0
Flexibilidade e Redundância	Simples	2
	By-Pass	1
	Dupla	0
Total de Pontos		14

Obtida uma pontuação de 14 para o equipamento Multifio, falta recorrer à tabela 4.11 de forma a se poder classificar que tipo de manutenção é mais conveniente aplicar neste equipamento.

Tabela 4.12: Classificação do método Ipinza para o equipamento Multifio Diamantado DECAWIRE

Nº de pontos	Aplicação de Manutenção Preventiva	Aplicar
19 a 22	Crítica	Manutenção Preventiva
13 a 19	Importante	Manutenção Preventiva
6 a 13	Conveniente	Manutenção Corretiva
0 a 6	Opcional	Manutenção Corretiva

A partir da tabela anterior, conclui-se que é necessário realizar uma prática de manutenção preventiva no equipamento Multifio.

Para os restantes equipamentos críticos, foi elaborada uma tabela que apresenta de forma resumida os resultados da aplicação do método Ipinza.

Tabela 4.13: Classificação do método Ipinza para os equipamentos críticos

Equipamento	Nº de pontos	Aplicação de Manutenção Preventiva	Aplicar
Stone Mill	16	Importante	Manutenção Preventiva
Engenho Metalonegrais	14	Importante	Manutenção Preventiva
Multifio diamantado DECAWIRE	14	Importante	Manutenção Preventiva
Robot de corte Multi 40 Fanuc	11	Conveniente	Manutenção Corretiva
Máquina de corte tipo ponte 084	10	Conveniente	Manutenção Corretiva
Máquina de corte tipo ponte 078	10	Conveniente	Manutenção Corretiva

Mediante os resultados obtidos, averigua-se que é “importante” realizar uma manutenção preventiva nos equipamentos Stone Mill, Engenho Metalonegrais e Multifio diamantado e para os restantes é “conveniente” aplicar uma manutenção corretiva. De fato, a prática de manutenção corretiva já é usual na organização, sendo por isso necessário transformar este costume de modo a se aumentar a disponibilidade dos equipamentos.

Posto isto, foi decidido realizar a elaboração de um plano de manutenção preventiva para os três equipamentos destacados anteriormente, já que estes são os mais críticos para a secção, deixando para um futuro a elaboração para os restantes. Espera-se assim, que haja uma implementação progressiva que não comprometa muito os recursos da organização e que se veja melhorias significativas a médio e longo prazo.

4.5. Elaboração dos planos de manutenção preventiva

Identificados os equipamentos críticos que carecem de uma manutenção preventiva, procedeu-se à elaboração dos respetivos planos de acordo com as características dos mesmos. Para isso, foi necessário definir as periodicidades entre intervenções dos equipamentos.

Relativamente à Stone Mill e ao Multifio diamantado DECAWIRE, o trabalho foi um pouco facilitado, visto que os equipamentos são recentes e dessa forma os manuais de instruções encontravam-se preservados no departamento de manutenção da empresa, no qual foi possível

recolher informações essenciais acerca da manutenção dos mesmos, como a periodicidade e as operações a realizar. Por outro lado, para o equipamento Engenho Metalonegrais, não foi possível obter essa informação e desse modo foi necessário definir a periodicidade com o auxílio a um *software* denominado por *Statistica* 13, no qual se ajustou a taxa de falhas do equipamento a uma distribuição estatística, neste caso à distribuição de *Weibull*. Esta distribuição tem como particularidade ser bastante versátil para descrever o tempo de vida até à falha dos componentes, sendo dessa forma bastante utilizada para modelar os tempos de vida dos componentes.

Assim, para que fosse possível determinar a periodicidade para o equipamento Engenho Metalonegrais, obteve-se os parâmetros de forma (β) e de escala (η) através do *software* mencionado anteriormente e com recurso à equação (2.28) conseguiu-se estimar os limites mínimos e máximo em que se deve intervir periodicamente no equipamento de modo a se garantir a fiabilidade pretendida.

4.5.1. Com base na fiabilidade do equipamento crítico

A figura 4.17 apresenta os intervalos de confiança para os parâmetros de forma e de escala do equipamento Engenho Metalonegrais, limitados pelo limite inferior e pelo superior de confiança. Foi considerado um intervalo de confiança de 95% para estimar os parâmetros, já que a amostra é um pouco limitada, possuindo apenas 11.

ML Estimates for 2-Parameter Weibull Distribution (metalonegrais_1) Var1; Censoring: Var2 (0,1) N=12 Censored:2					
Param.	Param. Value	Asympt. Std.Err.	-95,0% LCL	+95,0% UCL	Covarnce Shap/Scl
Location	0,00000				
Shape	0,81560	0,20311	0,50061	1,32877	
Scale	27,85285	10,95816	12,88194	60,22243	0,377629

Figura 4.17: Statistica – Summary Parameters: Parâmetros de forma e escala do equipamento Engenho

É possível verificar-se que os parâmetros de forma e de escala assumem valores correspondentes a 0,81 e 27,85 respetivamente.

Através do *Statistica*, foi também possível observar-se as representações gráficas da estimativa não-paramétrica da fiabilidade e da função acumulada da probabilidade (f.a.p).

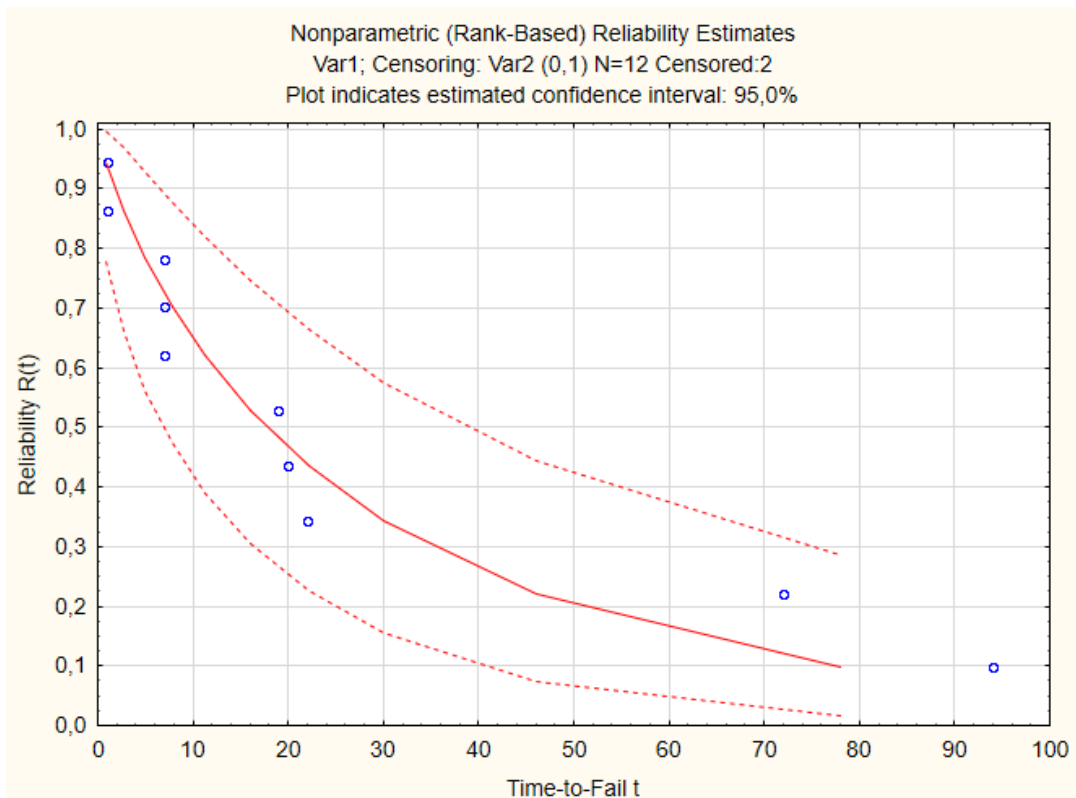


Figura 4.18: Estimativa não-paramétrica da fiabilidade do equipamento (Fonte: Statistica 13)

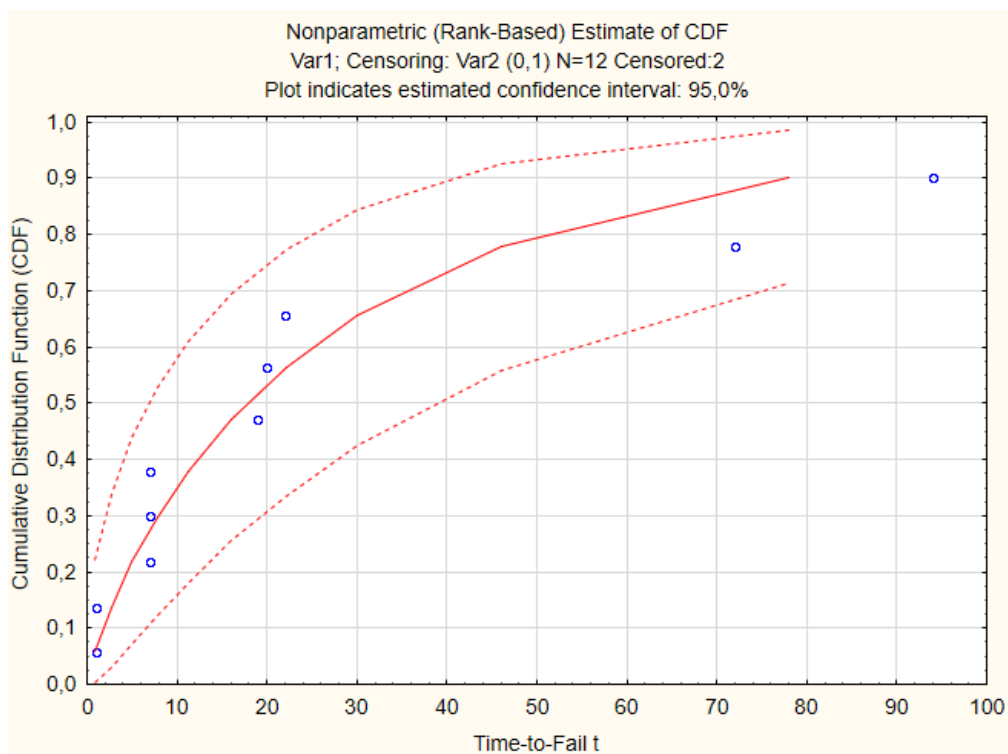


Figura 4.19: Estimativa não-paramétrica da f.a.p do equipamento (Fonte: Statistica 13)

Pode-se concluir, através da visualização dos gráficos anteriores que a modelação dos tempos de vida do equipamento Engenho Metalonegrais, se ajustam à distribuição de Weibull para um intervalo de confiança de 95%.

4.5.1.1. Limite inferior de confiança

Utilizando os valores do limite inferior de confiança ($\beta; \eta$), foi possível obter através da expressão (4.7) a função fiabilidade do Engenho Metalonegrais. O t representa o tempo de duração do componente para a fiabilidade pretendida, ou seja, o intervalo de tempo em que deve ser executada a inspeção ao equipamento.

$$R(t; 0,50; 12,88) = e^{-\left(\frac{t}{12,88}\right)^{0,50}} \quad (4.7)$$

A função distribuição acumulada e a função densidade probabilidade podem ser representadas graficamente de acordo com a figura 4.20.

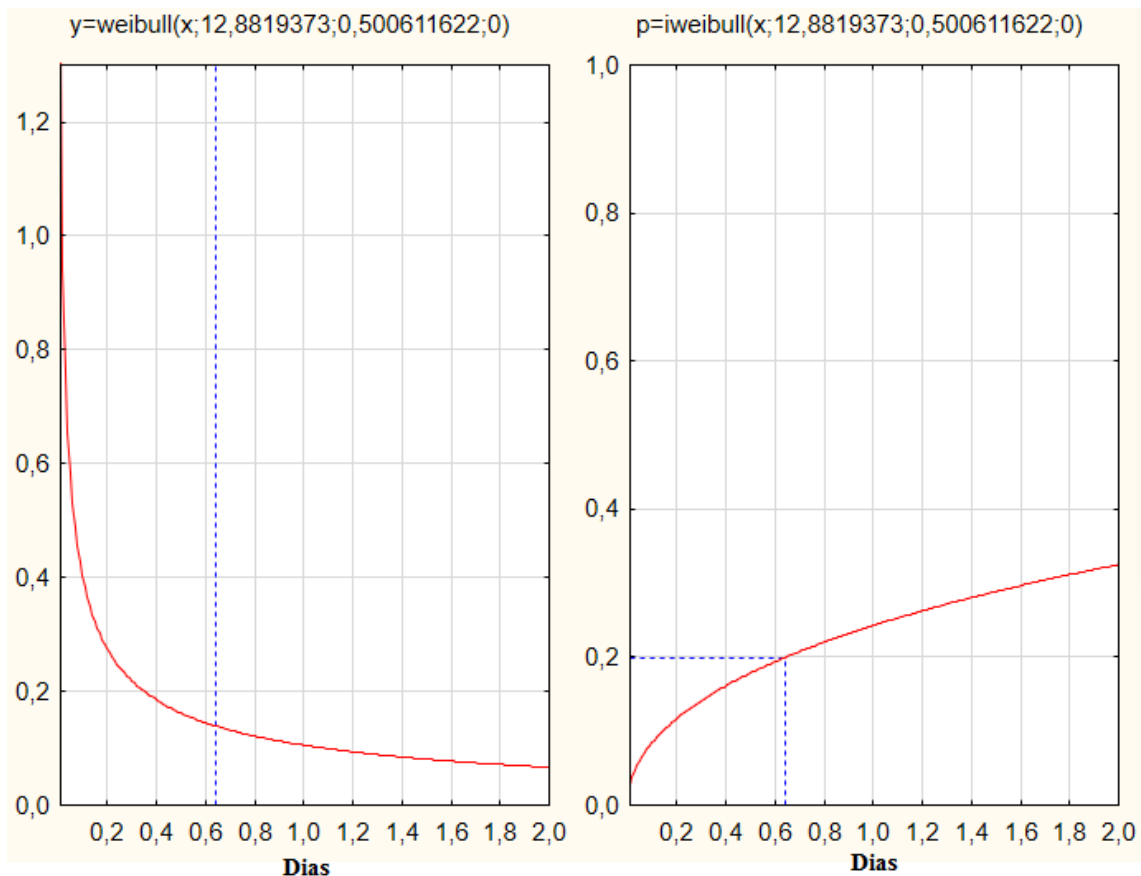


Figura 4.20: F.d.p e função distribuição acumulada [Weib; $\beta=0,50$; $\eta=12,88$] (Fonte: Statistica 13)

Resolvendo a equação da função acumulada de fiabilidade em ordem ao tempo, foi possível saber o intervalo entre tarefas de manutenção preventiva. R_i significa a fiabilidade desejada.

$$t = 12,88 \times [-\ln(R_i)]^{1/0,50} \quad (4.8)$$

Para este caso, o intervalo entre tarefas de manutenção preventiva para uma fiabilidade desejada de 80% e um intervalo de confiança de 95%, é de 0,64 dias, ou seja, de 1 em 1 dia é necessário realizar a manutenção no equipamento.

4.5.1.2. Limite superior de confiança

Semelhante ao limite inferior, mas utilizando os valores do limite superior, foi possível obter através da expressão (4.9) a função acumulada de fiabilidade do Engenho Metalonegrais.

$$R(t; 1,32; 60,22) = e^{-\left(\frac{t}{60,22}\right)^{1,32}} \quad (4.9)$$

A função distribuição acumulada e a função densidade probabilidade podem ser representadas graficamente de acordo com a figura 4.21.

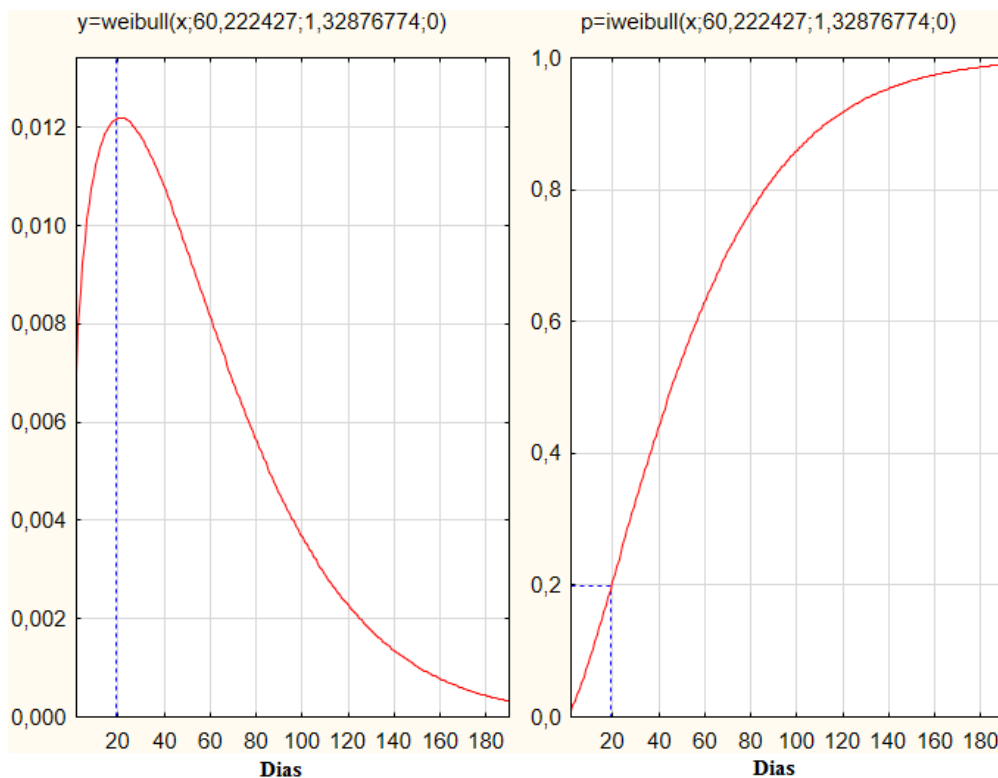


Figura 4.21: F.d.p e função distribuição acumulada [Weib; $\beta=1,32$; $\eta=60,22$] (Fonte: Statistica 13)

Resolvendo a equação da função fiabilidade em ordem ao tempo, foi possível estimar o intervalo entre tarefas de manutenção preventiva.

$$t = 60,22 \times [-\ln (Ri)]^{1/1,32} \quad (4.10)$$

Para este caso, o intervalo entre tarefas de manutenção preventiva para uma fiabilidade desejada de 80% e um intervalo de confiança de 95%, é de 19,47 dias, ou seja, de 19 em 19 dias é necessário realizar a manutenção no equipamento.

Deste modo, as tarefas de manutenção preventiva deverão ser realizadas no mínimo de 1 em 1 dia e no máximo de 19 em 19 dias, ou seja, $1 \leq T \leq 19$, conforme os limites inferior e superior de confiança, para que, se garanta a fiabilidade desejada de 80% para o equipamento. Posto isto, recomenda-se realizar as intervenções de manutenção preventiva em cada 10 dias.

4.5.2. Com base na manutibilidade do equipamento crítico

De forma análoga à distribuição estatística dos tempos de duração do equipamento crítico, é possível estimar a duração da reparação mínima e máxima do equipamento através do ajustamento a uma distribuição estatística de Weibull pelo método da máxima verosimilhança.

Na figura 4.22, está apresentado os intervalos de confiança para os parâmetros de forma e de escala do equipamento, limitados pelo limite inferior e pelo superior de confiança. Foi considerado um intervalo de confiança de 95% para estimar os parâmetros, já que a amostra é um pouco limitada, possuindo apenas 11 ocorrências.

ML Estimates for 2-Parameter Weibull Distribution (Spreadsheet1)					
Var1; Censoring: Var2 (0,1) N=11 Censored:0					
Param.	Param. Value	Asympt. Std.Err.	-95,0% LCL	+95,0% UCL	Covarnce Shap/Scl
Location	0,000000				
Shape	1,293444	0,319801	0,796691	2,099932	
Scale	6,101332	1,496300	3,772895	9,866759	0,148655

Figura 4.22: Statistica – Summary Parameters: Parâmetros de forma e escala do equipamento Engenho

4.5.2.1. Limite inferior de confiança

Utilizando os valores do limite inferior de confiança ($\beta; \eta$), foi possível obter através da expressão (4.11) a função acumulada de manutibilidade do Engenho Metalonegrais. O t representa o tempo de reparação do componente para a manutibilidade pretendida.

$$M(t; 0,79; 3,77) = e^{-\left(\frac{t}{3,77}\right)^{0,79}} \quad (4.11)$$

A função distribuição acumulada e a função densidade probabilidade podem ser representadas graficamente de acordo com a figura 4.23.

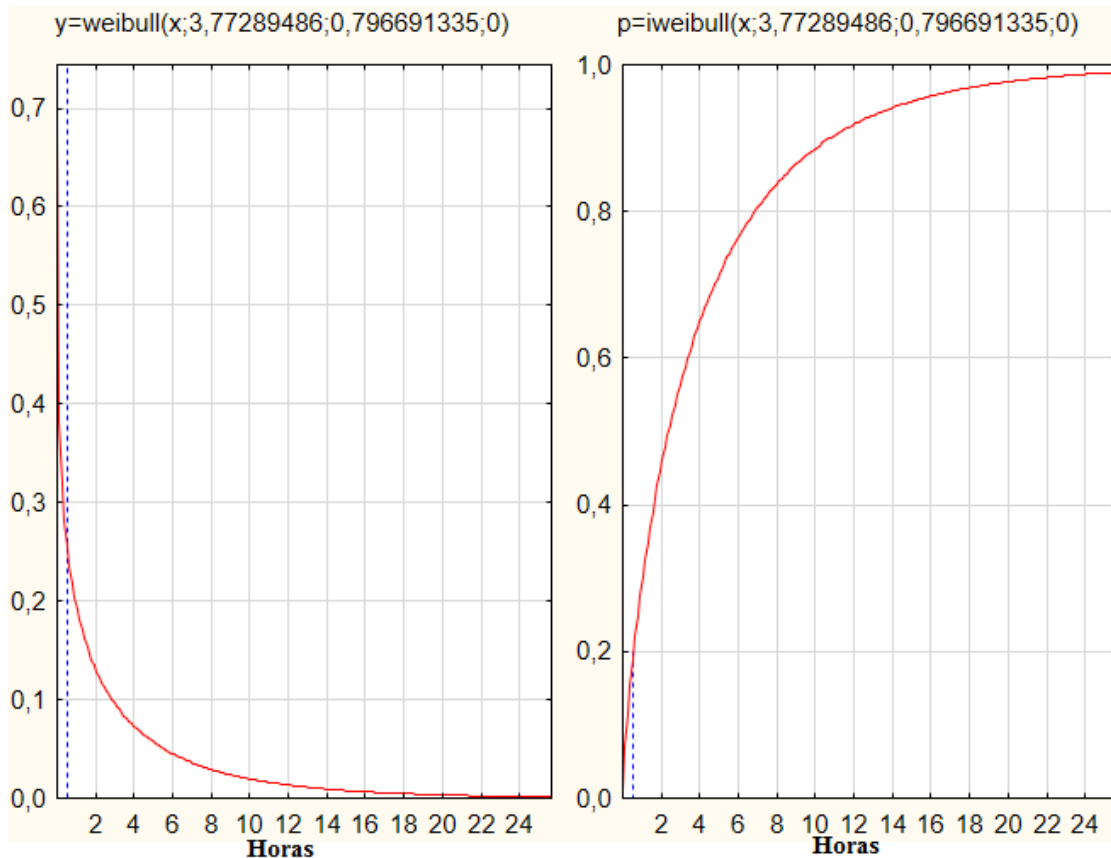


Figura 4.23: F.d.p e função distribuição acumulada [Weib; $\beta=0,79$; $\eta=3,77$] (Fonte: Statistica 13)

Resolvendo a equação da função acumulada de manutibilidade em ordem ao tempo, foi possível estimar o tempo de reparação do equipamento. M_i significa a manutibilidade desejada.

$$t = 3,77 \times [-\ln(M_i)]^{1/0,79} \quad (4.12)$$

Para este caso, o tempo técnico de reparação para uma manutibilidade desejada de 80% e um intervalo de confiança de 95%, é de 0,57 horas (34 minutos).

4.5.2.2. Limite superior de confiança

Semelhante ao limite inferior, mas utilizando os valores do limite superior, foi possível obter através da expressão (4.13) a função acumulada de manutibilidade do Engenho Metalonegrais.

$$M(t; 2,09; 9,86) = e^{-\left(\frac{t}{9,86}\right)^{2,09}} \quad (4.13)$$

A função distribuição acumulada e a função densidade probabilidade podem ser representadas graficamente de acordo com a figura 4.24.

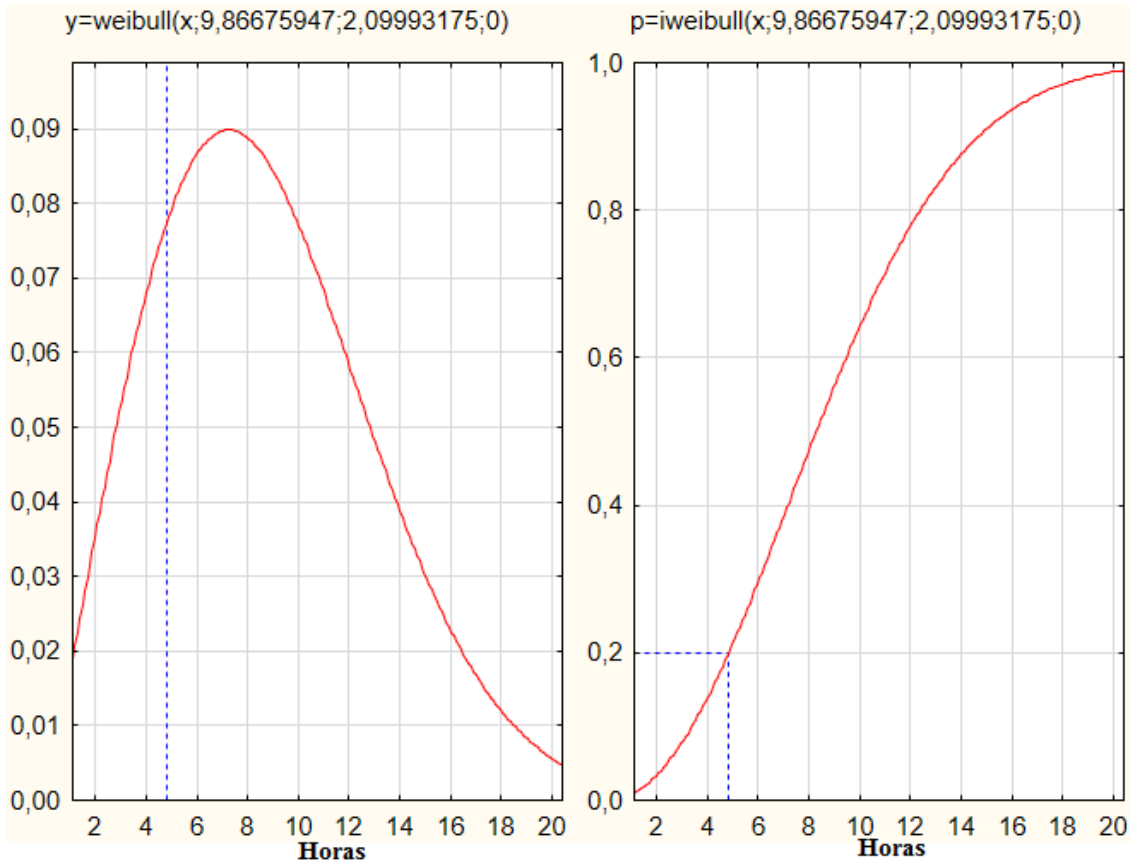


Figura 4.24: F.d.p e função distribuição acumulada [Weib; $\beta=2,09$; $\eta=9,86$] (Fonte: Statistica 13)

Resolvendo a equação da função acumulada de manutibilidade em ordem ao tempo, foi possível estimar o tempo de reparação do equipamento.

$$t = 9,86 \times [-\ln(Mi)]^{1/2,09} \quad (4.14)$$

Para este caso, o tempo técnico de reparação para uma manutibilidade desejada de 80% e um intervalo de confiança de 95%, é de 4,83 horas (4 horas e 50 minutos).

Resumindo, o tempo de reparação mínimo e máximo para o equipamento Engenho será de 0,57 horas e 4,83 horas.

Deve-se ter como referência, o limite superior de confiança, já que este, em 95% dos casos, garante que os parâmetros de forma e de escala sejam inferiores aos valores encontrados.

4.5.3. Planos de Manutenção Preventiva

Face à análise efetuada nos capítulos anteriores, obteve-se as condições para serem realizados os planos de manutenção preventiva para os equipamentos críticos destacados anteriormente, de forma a se poder garantir a fiabilidade desejada para 95% dos casos.

Devido à carência de registos de informação e manuais de instrução, principalmente para o equipamento Engenho Metalonegrais, foi necessário contactar o fornecedor de modo a ultrapassar este problema, pelo que até ao momento não foi possível recolher qualquer tipo de informação. Para os equipamentos Multifio e Stone Mill, como tinha sido referido, estes são mais recentes, pelo que foi possível obter dados úteis para a elaboração do plano.

Desta forma, um dos objetivos passou pela elaboração dos planos de manutenção preventiva, organizando toda a informação recolhida e complementando com outras relevantes, que iam sendo relatadas pelos operadores de manutenção à medida que se iam desenvolvendo os mesmos.

4.5.3.1. Plano de Manutenção Preventiva – Multifio

De seguida, encontra-se elaborado o plano de manutenção preventiva para o equipamento Multifio DECAWIRE da Pellegrini. Este foi dividido em sete intervenções periódicas de manutenção, em que uma delas será realizada diariamente pelo operador de forma a facilitar e a garantir o bom funcionamento do equipamento. As outras, ou seja, a semanal, a mensal, a trimestral, a semestral, a anual e a bienal serão realizadas de forma organizada e cuidadosa pelos operadores pertencentes à equipa de manutenção da empresa.


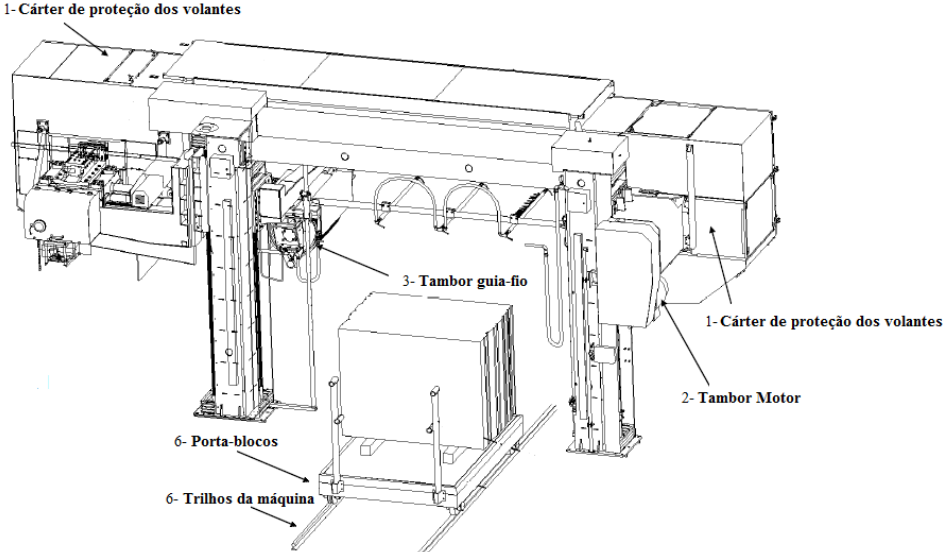
Para auxílio da manutenção autónoma a ser executada pelos operadores do equipamento, foram colocadas imagens auxiliares obtidas através do manual de manutenção Pellegrini DECAWIRE, fornecido pela Pellegrini.

Devido à extensão dos planos, foi decidido apenas apresentar o plano de manutenção preventiva diária. Os restantes encontram-se em Apêndice 2 – Planos de Manutenção Preventiva – Equipamento Multifio Diamantado.

Plano de Manutenção Preventiva – Diária

A ser executado pelo operador do equipamento, com o mesmo completamente parado.

Tabela 4.14: Plano de Manutenção Preventiva Diário - Multifio

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA					
	Código Equipamento: 412 Equipamento/Máquina: Multifio Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo _____	
	DADOS				
Data de início de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____		Operador _____	
Data de fim de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____		Operador _____	
Plano			Estado		
Diariamente			✓	✗	Observações
Itens a serem verificados		Operação a realizar			
1. Cárter de proteção dos volantes		Limpar com jatos de água de alta pressão para remover os detritos e depósitos de lama.			
2. Tambor motor					
3. Tambor guia-fio					
4. Volantes					
5. Estrutura da máquina					
6. Zona de trabalho em geral (Piso, trilhos da máquina e carro porta-blocos)					
Imagem Auxiliar - Estrutura da máquina					
					

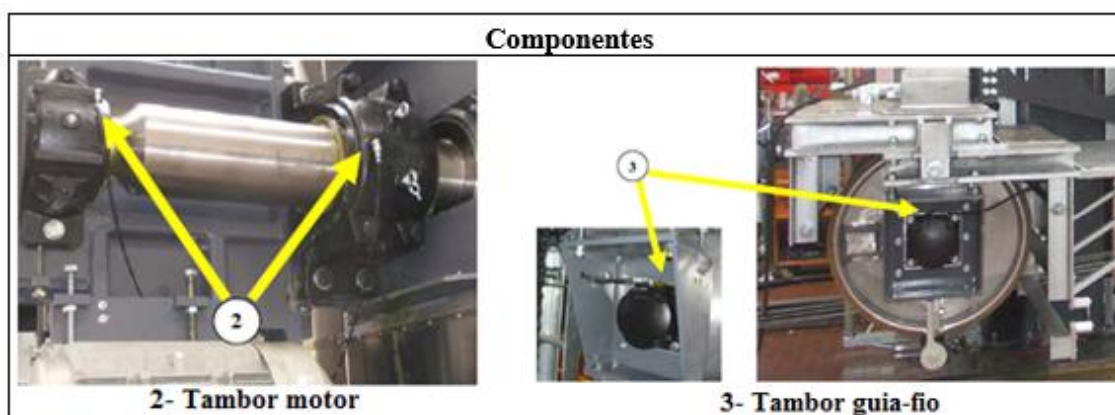


Figura 4.25: Componentes a serem verificados pelo operador

Cronograma dos Planos de Manutenção Preventiva do equipamento Multifio

Para se organizar o planejamento temporal das intervenções de manutenção preventiva, foi elaborado um cronograma com todas as realizações de manutenção preventiva que terão de ser realizadas no equipamento Multifio para os anos 2016 e 2017.

Foi utilizado o formato da ISO 8601, em que uma semana é definida como tendo sete dias, iniciada à segunda-feira e terminada ao domingo. Neste caso em concreto, a primeira semana de Janeiro de 2016 é a quinquagésima-terceira, isto porque, segundo a ISO, como a primeira semana do ano não contém a quinta-feira, ou seja, não possui pelo menos os quatro primeiros dias de Janeiro, esta não será considerada a primeira semana do ano de 2016.

Tabela 4.15: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva do equipamento - Multifio









 Cronograma de intervenções periódicas de manutenção preventiva									
	JAN			FEV			MAR		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
2016	53	1-3		5	1-7		9	1-6	
	1	4-10		6	8-14		10	7-13	
	2	11-17		7	15-21		11	14-20	
	3	18-24		8	22-28		12	21-27	
	4	25-31		9	29		13	28-31	

Tabela 4.15: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva do equipamento - Multifio



2016	ABR			MAI			JUN		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	13	1-3	 	17	1		22	1-5	 
	14	4-10		18	2-8	  	23	6-12	
	15	11-17		19	9-15		24	13-19	
	16	18-24		20	16-22		25	20-26	
	17	25-30		21	23-29		26	27-30	
				22	30-31				
	JUL			AGO			SET		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	26	1-3	 	31	1-7	   	35	1-4	 
	27	4-10		32	8-14		36	5-11	
	28	11-17		33	15-21		37	12-18	
	29	18-24		34	22-28		38	19-25	
	30	25-31		35	29-31		39	26-30	
	OUT			NOV			DEZ		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	39	1-2		44	1-6	  	48	1-4	 
	40	3-9	 	45	7-13		49	5-11	
	41	10-16		46	14-20		50	12-18	
	42	17-23		47	21-27		51	19-25	
	43	24-30		48	28-30		52	26-31	
	44	31							

Tabela 4.15: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva do equipamento - Multifio

2017	JAN			FEV			MAR		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	52	1		5	1-5		9	1-5	
	1	2-8		6	6-12		10	6-12	
	2	9-15		7	13-19		11	13-19	
	3	16-22		8	20-26		12	20-26	
	4	23-29		9	27-28		13	27-31	
	5	30-31							
	ABR			MAI			JUN		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
13	1-2		18	1-7		22	1-4		
14	3-9		19	8-14		23	5-11		
15	10-16		20	15-21		24	12-18		
16	17-23		21	22-28		25	19-25		
17	24-30		22	29-31		26	26-30		
JUL			AGO			SET			
Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	
26	1-2		31	1-6		35	1-3		
27	3-9		32	7-13		36	4-10		
28	10-16		33	14-20		37	11-17		
29	17-23		34	21-27		38	18-24		
30	24-30		35	28-31		39	25-30		
31	31								

Tabela 4.15: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva do equipamento - Multifio

	OUT			NOV			DEZ		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
2017	39	1		44	1-5	✂ ✂ ✂	48	1-3	✂ ✂
	40	2-8	✂ ✂	45	6-12	✂	49	4-10	✂
	41	9-15	✂	46	13-19	✂	50	11-17	✂
	42	16-22	✂	47	20-26	✂	51	18-24	✂
	43	23-29	✂	48	27-30		52	25-31	✂
	44	30-31							
	Legenda: Manutenção preventiva (MP) semanal ✂ ; MP mensal ✂ ; MP trimestral ✂ MP semestral ✂ ; MP anual ✂								

4.5.3.2. Plano de Manutenção Preventiva – Stone Mill

De forma análoga ao plano de manutenção preventiva para o equipamento Multifio, o equipamento Stone Mill foi dividido em oito intervenções periódicas de manutenção, em que haverá uma vez mais como prioridade uma manutenção autónoma a ser realizada diariamente pelo operador do equipamento de forma a garantir uma boa disponibilidade do mesmo.

Foram adicionadas aos planos algumas imagens auxiliares, que foram obtidas através do manual de manutenção da Stone Mill da CEI.

Devido à extensão dos planos, foi decidido apenas apresentar o plano de manutenção preventiva diária. Os restantes encontram-se em Apêndice 3 – Planos de Manutenção Preventiva – Equipamento Stone Mill.

Plano de Manutenção Preventiva – Diário

A ser executado pelo operador do equipamento, com o mesmo completamente parado.

Tabela 4.16: Plano de Manutenção Preventiva Diário – Equipamento Stone Mill

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA					
	Código Equipamento: 993 Equipamento/Máquina: Stone Mill Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo _____	
	DADOS				
Data de início de Revisão		Hora		Operador	
____ / ____ / ____		____ : ____		_____	
Data de fim de Revisão		Hora		Operador	
____ / ____ / ____		____ : ____		_____	
Plano			Estado		
Diariamente			✓	✗	Observações
Itens a serem verificados		Operação a realizar			
1. Spindle - Sensores		Verificar o funcionamento dos sensores			
2. Limpeza do local de trabalho		Limpeza após cada utilização (passadeira, etc)			

Cronograma dos Planos de Manutenção Preventivas do equipamento Stone Mill

Para o equipamento Stone Mill, foi elaborado um cronograma para o planeamento das intervenções de manutenção preventiva, de forma semelhante ao utilizado para o equipamento Multifio.

Uma vez mais, foi utilizado o formato da ISO 8601, para os anos 2016 e 2017.

Tabela 4.17: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva do equipamento - Stone Mill


 Cronograma de intervenções periódicas de manutenção preventiva									
	JAN			FEV			MAR		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
2016	53	1-3		5	1-7	✗ ✗	9	1-6	✗ ✗
	1	4-10	✗ ✗ ✗ ✗ ✗ ✗	6	8-14		10	7-13	
	2	11-17		7	15-21	✗	11	14-20	✗
	3	18-24	✗	8	22-28		12	21-27	
	4	25-31		9	29		13	28-31	

Tabela 4.17: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva do equipamento - Stone Mill

2016	ABR			MAI			JUN		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	13	1-3		17	1		22	1-5	
	14	4-10		18	2-8		23	6-12	
	15	11-17		19	9-15		24	13-19	
	16	18-24		20	16-22		25	20-26	
	17	25-30		21	23-29		26	27-30	
				22	30-31				
	JUL			AGO			SET		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	26	1-3		31	1-7		35	1-4	
	27	4-10		32	8-14		36	5-11	
	28	11-17		33	15-21		37	12-18	
	29	18-24		34	22-28		38	19-25	
	30	25-31		35	29-31		39	26-30	
	OUT			NOV			DEZ		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
39	1-2		44	1-6		48	1-4		
40	3-9		45	7-13		49	5-11		
41	10-16		46	14-20		50	12-18		
42	17-23		47	21-27		51	19-25		
43	24-30		48	28-30		52	26-31		
44	31								
2017	JAN			FEV			MAR		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	52	1		5	1-5		9	1-5	
	1	2-8		6	6-12		10	6-12	
	2	9-15		7	13-19		11	13-19	
	3	16-22		8	20-26		12	20-26	
	4	23-29		9	27-28		13	27-31	
	5	30-31							
	ABR			MAI			JUN		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	13	1-2		18	1-7		22	1-4	
	14	3-9		19	8-14		23	5-11	
	15	10-16		20	15-21		24	12-18	
16	17-23		21	22-28		25	19-25		
17	24-30		22	29-31		26	26-30		

Tabela 4.17: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva do equipamento - Stone Mill

2017	JUL			AGO			SET		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	26	1-2		31	1-6	✗ ✕	35	1-3	✗ ✕
	27	3-9	✗ ✕ ✕ ✕	32	7-13		36	4-10	
	28	10-16		33	14-20	✗	37	11-17	✗
	29	17-23	✗	34	21-27		38	18-24	
	30	24-30		35	28-31		39	25-30	
	31	31							
	OUT			NOV			DEZ		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
39	1		44	1-5	✗ ✕	48	1-3	✗ ✕	
40	2-8	✗ ✕ ✕	45	6-12		49	4-10		
41	9-15		46	13-19	✗	50	11-17	✗	
42	16-22	✗	47	20-26		51	18-24		
43	23-29		48	27-30		52	25-31		
44	30-31								

Legenda: Manutenção preventiva (MP) quinzenal ✗; MP mensal ✕; MP trimestral ✕; MP semestral ✕; MP anual ✕; MP Bienal ✕; MP quinquenal ✕

4.5.3.3. Plano de Manutenção Preventiva – Engenho Metalonegrais

Como se averiguou anteriormente, para se garantir uma fiabilidade desejada de 80%, deverão ser realizadas ações de manutenção preventiva de 10 em 10 dias.

De forma a complementar o plano de manutenção preventiva, foi estabelecido com o auxílio dos operadores de manutenção, um plano também diário a ser executado pelo operador do equipamento, bem como um plano mensal e semestral, a serem realizados pelos operadores de manutenção.



Uma vez mais, foram adicionadas imagens de alguns dos componentes, obtidas dentro da empresa, de forma a auxiliar o operador que irá intervir na manutenção do equipamento.

Devido à extensão dos planos, foi decidido apenas apresentar o plano de manutenção preventiva diária. Os restantes encontram-se em Apêndice 4 – Planos de Manutenção Preventiva – Equipamento Engenho Metalonegrais.

Plano de Manutenção Preventiva – Diária

A ser executado pelo operador do equipamento, com o mesmo completamente parado.

Tabela 4.18: Plano de Manutenção Preventiva Diário - Engenho

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 307 Equipamento/Máquina: Engenho Metalonegrais Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo _____
	DADOS			
Data de início de Revisão		Hora	Operador	
____ / ____ / ____		____ : ____	_____	
Data de fim de Revisão		Hora	Operador	
____ / ____ / ____		____ : ____	_____	
Plano		Estado		
Diariamente		✓	✗	Observações
Itens a serem verificados	Operação a realizar			
1. Lâminas - corte	Verificar se as lâminas apresentam um corte frontal e uniforme.			
2. Lâminas - espaçamento	Verificar espaçamento entre as lâminas.			
3. Lâminas	Limpar lâminas no fim de cada utilização			
4. Estrutura do equipamento	Limpar estrutura do equipamento			
5. Fusos trapezoidais	Lubrificar a cada carga			
6. Coluna vertical de deslizamento	Limpar a cada carga			
Imagem Auxiliar				
				
5- Fusos trapezoidais				

Cronograma dos Planos de Manutenção Preventiva do equipamento Engenho Metalonegrais

De forma similar aos outros dois equipamentos, foi elaborado para o Engenho Metalonegrais um cronograma para o planeamento das intervenções de manutenção preventiva.

Uma vez mais, foi utilizado o formato da ISO 8601, para os anos 2016 e 2017.

Tabela 4.19: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva do equipamento Engenho

Cronograma de intervenções periódicas de manutenção preventiva								
Engenho Metalonegrais								
JAN			FEV			MAR		
Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
53	1-3		5	1-7	✗ ✗	9	1-6	✗ ✗
1	4-10	✗ ✗ ✗	6	8-14		10	7-13	
2	11-17		7	15-21	✗	11	14-20	✗
3	18-24	✗	8	22-28		12	21-27	
4	25-31		9	29		13	28-31	
ABR			MAI			JUN		
Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
13	1-3	✗ ✗	17	1		22	1-5	✗
14	4-10		18	2-8	✗	23	6-12	✗
15	11-17	✗	19	9-15	✗	24	13-19	
16	18-24		20	16-22		25	20-26	✗
17	25-30	✗	21	23-29	✗	26	27-30	
			22	30-31				
JUL			AGO			SET		
Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
26	1-3	✗ ✗ ✗	31	1-7	✗ ✗	35	1-4	✗ ✗
27	4-10	✗	32	8-14		36	5-11	
28	11-17		33	15-21	✗	37	12-18	✗
29	18-24	✗	34	22-28		38	19-25	
30	25-31		35	29-31		39	26-30	✗
OUT			NOV			DEZ		
Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
39	1-2		44	1-6	✗	48	1-4	✗
40	3-9	✗	45	7-13	✗	49	5-11	✗
41	10-16	✗	46	14-20		50	12-18	
42	17-23		47	21-27	✗	51	19-25	✗
43	24-30	✗	48	28-30		52	26-31	
44	31							

Tabela 4.19: Cronograma das intervenções de manutenção preventiva do equipamento Engenho

2017	JAN			FEV			MAR		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	52	1		5	1-5	✂ ✂	9	1-5	✂ ✂
	1	2-8	✂ ✂ ✂	6	6-12		10	6-12	
	2	9-15		7	13-19	✂	11	13-19	✂
	3	16-22	✂	8	20-26		12	20-26	
	4	23-29		9	27-28		13	27-31	✂
	5	30-31							
	ABR			MAI			JUN		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	13	1-2		18	1-7	✂	22	1-4	✂
	14	3-9	✂	19	8-14	✂	23	5-11	✂
	15	10-16	✂	20	15-21		24	12-18	
	16	17-23		21	22-28	✂	25	19-25	✂
	17	24-30	✂	22	29-31		26	26-30	
	JUL			AGO			SET		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	26	1-2		31	1-6	✂ ✂	35	1-3	✂ ✂
	27	3-9	✂ ✂ ✂	32	7-13		36	4-10	
	28	10-16		33	14-20	✂	37	11-17	✂
	29	17-23	✂	34	21-27		38	18-24	
	30	24-30		35	28-31		39	25-30	✂
	31	31							
	OUT			NOV			DEZ		
	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.	Semana	Entre (dias)	Interv.
	39	1		44	1-5	✂	48	1-3	✂
	40	2-8	✂	45	6-12	✂	49	4-10	✂
	41	9-15	✂	46	13-19		50	11-17	
	42	16-22		47	20-26	✂	51	18-24	✂
	43	23-29	✂	48	27-30		52	25-31	
	44	30-31							
	Legenda: Manutenção preventiva (MP) a cada 10 dias ✂ ; MP mensal ✂ ; MP semestral ✂								

CAPÍTULO 5 – Reestruturação e organização do fluxo de informação

Este capítulo destina-se a apresentar a reestruturação e organização do fluxo de informação de dois departamentos, o departamento de manutenção e o departamento de produção, mais especificamente a secção 13, secção explorada inicialmente para o desenvolvimento do caso de estudo.

Inicialmente foram abordados diversos operadores tanto do departamento de manutenção como do departamento de produção, de forma a se verificar oportunidades de melhoria na transmissão e recolha de informação fidedigna entre departamentos e operadores. Com base nessa informação e numa análise realizada cuidadosamente ao longo de vários meses, observou-se algumas lacunas, como o *delay* da transmissão de informação entre departamentos, alguma incerteza e imprecisão na emissão da contabilização de produtos fabricados *on time*, bem como alguma desorganização dos registos e trabalhos a serem realizados por ambos os departamentos. Assim, foi decidido executar a elaboração e implementação de um quadro *kanban* para o controlo da produção na secção 13 e igualmente para o departamento de manutenção um quadro para gerir de forma controlada e priorizada os pedidos de reparação dos equipamentos.

5.1. Gestão e controlo da informação no Departamento de Manutenção através da implementação de um quadro de manutenção

Como se pôde observar através da figura 3.36, quando existe uma avaria num equipamento, no qual o operador não apresenta capacidade para restabelecer as suas funcionalidades, é criada uma FRE (ficha de reparação do equipamento) e entregue pelo encarregado de secção na área de manutenção. Estas por sua vez, são acumuladas e mantidas junto de outras FRE e tratadas assim que possível, não possuindo qualquer estipulação na ordem de manutenção.

Ora, pode-se deduzir a existência de falhas significativas na organização da informação que por sua vez irá influenciar a transferência de informação para os operadores de manutenção e consequentemente afetar a produtividade dos equipamentos. Se, na maioria das vezes surge a incerteza nos operadores de manutenção sobre que equipamento reparar prioritariamente, outras vezes não o acontece por se perderem as fichas ou fazerem o levantamento das que já foram concluídas.

Assim, de forma a se colmatar este problema, elaborou-se um quadro de manutenção, que apresenta algumas similaridades a um quadro *kanban*, na medida em que a gestão e controlo do mesmo será efetuado por pequenos cartões que através da gestão visual e algum rigor trará diversos benefícios tanto para os operários como para a organização.

5.1.1. Elaboração e implementação do quadro de manutenção

O quadro de manutenção foi elaborado e estruturado de acordo com seis divisões:

Secção - Local onde se encontra a origem do problema a ser tratado. Este é constituído por oito secções: Lancil (secção 13), Corte, Fresagem, Serragem, Detalhes, Acabamento, Embalagens e Outra;

Prioridade – Sendo urgente, normal ou quando conveniente consoante a gravidade e tomada de decisão adotada pelo responsável do departamento de manutenção baseado na sua experiência empírica;

Em tratamento – Campo que informa que equipamentos estão a ser tratados e por que operadores de manutenção;

Resolvido – Campo que contém os cartões de manutenção das avarias que foram solicitadas e reparadas adequadamente;

Problema – Quando não se pode proceder à reparação do equipamento, devido a problemas como a falta de peças em *stock* ou reparações a serem realizadas por empresas exteriores, bem como outro tipo de problemas. Repare-se que como tinha sido citado anteriormente, não existe qualquer tipo de registo de reparações realizadas por empresas exteriores. Deste modo, consegue-se contrariar essa lacuna.

Observações – Como a palavra indica, é o campo onde se pode dar a conhecer propostas de melhoria, dicas, ideias ou opiniões.

De seguida, figura 5.1, está representado uma imagem do quadro de manutenção já em funcionamento no departamento de manutenção da empresa. Consegue-se presenciar a gravidade das inúmeras ocorrências nos equipamentos à espera de receber tratamento.

SEÇÃO	PRIORIDADE			EM TRATAMENTO			RESOLVIDO	PROBLEMA			OBSERVAÇÕES
	URGENTE	NORMAL	QUANDO CONVENIENTE	ARMÊNIO DELGADO	DANIEL CATARINO	Outro		FALTA DE PEÇAS EM STOCK	A REALIZAR POR EMPRESA EXTERIOR	OUTRA	
LANÇIL	[Cartão]	[Cartão]	[Cartão]					[Cartão]	[Cartão]		
CORTE	[Cartão]	[Cartão]	[Cartão]					[Cartão]	[Cartão]		
FRESAGEM			[Cartão]								
SERRAGEM	[Cartão]	[Cartão]	[Cartão]					[Cartão]			
DETALHES	[Cartão]	[Cartão]	[Cartão]								
ACABAMENTO	[Cartão]	[Cartão]	[Cartão]					[Cartão]			
EMBALAGENS											
OUTRA	[Cartão]	[Cartão]	[Cartão]								

Figura 5.1: Quadro de Manutenção em funcionamento

Essas ocorrências são solicitadas através de cartões, como se pode ver fixado no quadro de manutenção. Estes são denominados por Cartões de Manutenção e têm como objetivo ajudar a identificar o equipamento de onde proveio essa solicitação, a data dessa ocorrência e o tipo de avaria.

2663

CARTÃO DE MANUTENÇÃO

Data avaria: 20/07/04 às _____

Equipamento: 332 - Stonecut 3

Avaria: Chumaceira partida no tapete de digitalização

Figura 5.2: Cartão de Manutenção

5.1.2. Modo de funcionamento

O quadro de manutenção foi concebido de forma a facilitar a vida dos operadores, ou seja, este foi criado para ser visualizado e manipulado de uma forma rápida, clara e perceptível. Foi também fornecida formação aos operadores, de forma a estes não se induzirem em erros e não manusearem de formas distintas, uns dos outros, a exploração do quadro, pois este deve ser entendido e manejado corretamente, de modo a aproveitar o máximo benefício do mesmo.

Assim, com a implementação do quadro, foram estipulados alguns procedimentos na forma de atuação, quando ocorrer uma anomalia num equipamento:

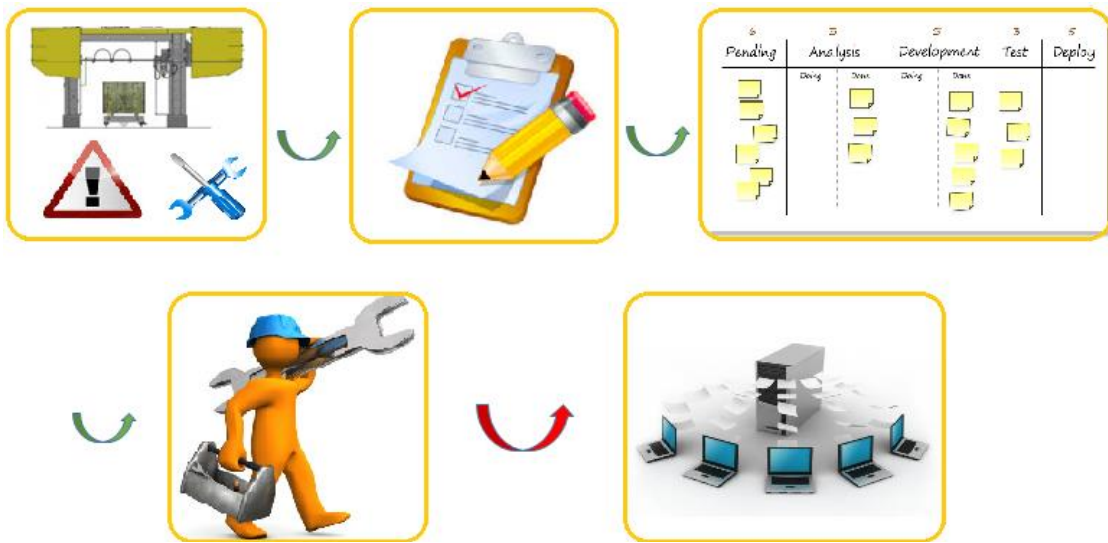


Figura 5.3: Forma de atuação na ocorrência de uma avaria num equipamento

1º- Como já acontece, quando se verifica um defeito no equipamento de trabalho que prejudique o normal funcionamento produtivo, faz-se o possível para tentar reverter a situação e capacitá-lo para prosseguir com a continuidade produtiva programada;

2º- Caso não seja possível, o operador do equipamento notifica o encarregado da secção. Este faz uma breve análise e caso se confirme a falha do equipamento, é dever do mesmo preencher uma FRE (ficha de reparação do equipamento) e fornece-la ao departamento de manutenção, bem como informa-los acerca do sucedido;

3º- O encarregado de manutenção em conjunto com o encarregado responsável pela FRE, definem a prioridade de reparação do equipamento. De seguida, é preenchido um cartão de manutenção e colocado no respetivo local de “Prioridade” e “Secção” no quadro de manutenção. A partir daí, será responsabilidade dos operadores de manutenção, pela gestão do estado do quadro, ou seja, pela emissão de informação do estado real dos equipamentos.

Como se pode verificar na figura seguinte, o fluxo de informação direciona-se da esquerda para a direita. Quando um dos operadores responde a um pedido de solicitação para reparação, este coloca o respetivo cartão no estado “Em Tratamento”. Caso ocorra um problema, têm como dever posicionar o mesmo no campo “Problema”. Nesta condição, ou seja, quando estão presentes cartões no campo “Problema”, o responsável pela manutenção tem como tarefa verificar e tratar da situação ocorrida e posicionar de novo o cartão no campo adequado;

SECCÃO	PRIORIDADE			EM TRATAMENTO			RESOLVIDO	PROBLEMA			OBSERVAÇÕES
	URGENTE	NORMAL	QUANDO CONVENIENTE	ARMÉNIO DELGADO	DANIEL CATARINO	Outro		FALTA DE PEÇAS EM STOCK	A REALIZAR POR EMPRESA EXTERIOR	OUTRA	
LANCIL	Card	Card	Card								
CORTE	Card	Card	Card								

Figura 5.4: Fluxo de informação do quadro de manutenção

4º- Após concluída a reparação de um equipamento, o responsável pela sua intervenção deverá fechar a OM do equipamento em questão e introduzir o cartão de manutenção no campo “Resolvido”;

5º- Posteriormente, o responsável pela manutenção terá como responsabilidade retirar e guardar o cartão de manutenção do estado “Resolvido” e encontrar a respetiva FRE através da OM (ordem de manutenção). Para concluir, deverá inserir os dados contidos na mesma no RPS (ERP) da empresa.

5.2. Gestão e controlo da informação na Secção 13 através da implementação de um quadro de produção (*Kanban*)

Inúmeras vezes, existe falhas no fluxo de informação entre os diversos departamentos da empresa. Como exemplo, temos a interação entre o departamento de produção e as variadas secções de trabalho, principalmente a Secção 13, no qual por vezes não se segue ordens de produção devido a diversos fatores como a desorganização das folhas Ordens de Fabrico, no qual estas contém a informação dos artigos a fabricar, a não contabilização em tempo real do número de artigos fabricados e daqueles em processo de fabrico, bem como o *delay do feedback* da informação, como por exemplo, a notificação tardia de uma avaria num equipamento, pelo que facilmente se conclui que irá afetar significativamente os planos de produção previamente estabelecidos.

Uma vez mais, foi estabelecido a implementação de um quadro, denominado por quadro de produção ou quadro *Kanban*, na secção 13, com o intuito de superar estas desordens, proporcionando assim uma maior fluidez e organização da informação entre os respetivos departamentos.

5.2.1. Elaboração e implementação do quadro de produção

O quadro de produção foi elaborado e estruturado de acordo com 15 divisões:

Centro de trabalho – Campo que contém os equipamentos de produção da secção. No total, são 8 os equipamentos pelo qual o fluxo de produção poderá passar: 412 (Multifio Diamantado – Serragem); 307 (Engenho Metalonegrais – Serragem); 017 (Máquina de flamejar); 078 (Máquina de corte tipo ponte Gregori Impala); 084 (Máquina de corte tipo ponte Gregori Impala); 367 (Máquina de corte tipo ponte Minorça); 993 (Stone Mill – CNC de 5 eixos); 371 (Robot de corte Multi 40 FANUC - Flamejar);

Dias da semana – Local onde são colocados os cartões *kanban*, conforme o planeado anteriormente pelo departamento de produção. Para um mesmo equipamento, terá um planeamento de segunda a sexta-feira com o respetivo trabalho a realizar;

Em produção – Artigos que estão a ser produzidos naquele exato momento;

Produzido – Quando é terminada a produção do artigo no equipamento em questão;

Avaria – Caso se encontre uma anomalia que reduza ou pare o normal funcionamento do equipamento;

Falta de material – Quando existe a incapacidade de produzir de acordo com o planeado por consequência de falta de material, como por exemplo a não existência de chapas de determinado tipo de pedra;

Defeito - Se um tipo de artigo for produzido com defeito, ou, não conforme o pré-estabelecido;

Outro – Local destinado a alguma outra anomalia que ocorrera naquele posto de trabalho;

Verificado – Confirmação de que fora resolvido alguma das quatro abnormidades apresentadas anteriormente (avaria, falta de material, defeito, outro);

Observações – Campo onde se pode dar a conhecer propostas de melhoria, dicas, ideias ou opiniões.

Como se poderá presenciar na figura 5.5, está representado o quadro de produção em funcionamento na secção 13.

Constata-se a inexistência de cartões nos equipamentos 412, 307, 017 e 371. Para os equipamentos 412 e 307, Multifio e Engenho respetivamente, não possuem cartões *kanban*, pela inexistência de um planeamento de produção, pois estes possuem uma OF (ordem de fabrico) *standard*, ou seja, não se realiza a produção de serragem de chapas para um cliente em específico e dessa forma não se estabelece um plano de produção para esses mesmos equipamentos.

Por outro lado, para o equipamento 017 e 371, ambos destinadas à aplicação do acabamento flamejado, a inexistência de cartões deve-se por este processo de produção não ser recorrente, ou seja, nem todos os clientes desejam por vezes esse tipo de acabamento, o que assim se conclui que haverá semanas em que estes equipamentos poderão não estar em funcionamento por esse mesmo motivo, o que leva à não criação de um plano semanal de produção.



Figura 5.5: Quadro de produção em funcionamento

5.2.2. Modo de funcionamento

Na Solancis, o planeamento produtivo é realizado semanalmente, mais propriamente no final da semana. Posteriormente, no início da semana seguinte, segunda-feira, é realizada uma reunião uma hora antes da hora de início de trabalho, com a presença de todos os encarregados de secção e diretores de departamento, na qual se fala em diversos assuntos sobre a organização, como por exemplo das funções dos comerciais, dos desenhadores, dos encarregados, etc. É

nessa reunião que também se transmite o planeamento produtivo dessa semana e se fornece as folhas de OF (ordens de fabrico) aos respetivos encarregados.

Seguindo este processo organizativo e querendo facilitar o trabalho aos responsáveis de produção, foi solicitado ao informático que se criasse um *report*, quando se finalizasse o *Schedule* do planeamento semanal, em que, com o auxílio do RPS, fosse possível aceder-se a esse mesmo *report* e com isso se ordenar a impressão dos cartões *Kanban* em conformidade com o planeamento produtivo.

Esses cartões possuirão apenas um resumo do que é suposto produzir, não havendo dessa forma justificação para não se fornecer mais as folhas de OF, já que estas contêm a informação mais pormenorizada e os desenhos em CAD do tipo de operação a efetuar. Assim, será mostrado de seguida, uma imagem de dois cartões, que foram utilizados segunda e terça-feira, dia 25 e 26 de Julho respetivamente, como exemplo.



Figura 5.6: Cartões *Kanban* utilizados na secção 13

Observando-se o segundo cartão representado na figura 5.6, percebeu-se a sintetização da informação. Este contém o tipo de artigo (Lage V M Calças Escuro Fla 40), a data de produção (terça-feira, 25 de Julho de 2016), a OF (39242), o número da encomenda (E034116), o cliente

(SERGE CAILLAUD EURL (SCI ERC)), a hora prevista a produzir (das 05h às 06:11h) e para concluir, um código de barras que tem codificado o número da OF.

De seguida, está enunciado de uma forma resumida e enumerada, o modo de funcionamento do fluxo da informação entre o departamento de produção e a secção 13:

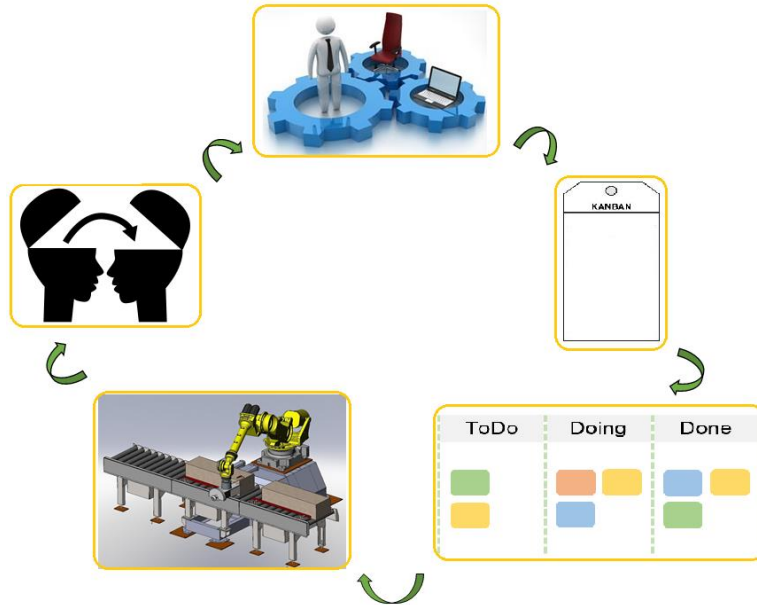


Figura 5.7: Fluxo de informação entre o departamento de produção e a secção 13

1º - No final de cada semana (sexta-feira), são impressos os cartões *Kanban* e fixados nos respetivos campos no quadro de produção.

2º - No início de cada operação, o operador apenas tem que verificar qual o cartão de produção pelo qual deverá de iniciar o processo produtivo e coloca-lo no campo “Em Produção”. Note-se que cartões de diferentes dias da semana possuem cores distintas, de forma a sobressair o atraso, caso ocorra a produção de um artigo fora do seu tempo destinado de produção.



Figura 5.8: Seleção do cartão de produção

3º - Concluída a operação, o cartão deverá de ser colocado no local “Produzido”, de modo a informar que artigos já foram ou não finalizados.



Figura 5.9: Visualização dos artigos em processo de produção e produzidos

4º - Caso ocorra alguma avaria, defeito ou outro, o operador deverá preencher um cartão destinado para o efeito, como ilustrado na figura 5.10, e colocá-lo no campo específico no quadro de produção.

A red card titled "PROBLEMA" from SOLANÇIS. It has a header with "às" and "Centro de trabalho". Below are four sections, each with a small white box for a checkmark: "AVARIA (código improdutividade 21):", "DEFEITO (código improdutividade 26):", "OUTRO (código improdutividade 25):", and "OBSERVAÇÕES (preencher no lado de trás)".

Figura 5.10: Cartão a preencher em caso de problema

5º - Quando o problema for verificado, fixa-se o cartão no local “Verificado”. Se houver alguma observação a fazer, foram colocados cartões em branco, nos quais o operador poderá redigir e posteriormente colocar no local específico “Observações”.

6º - Para concluir, toda a informação contida nos campos “Resolvido” e “Verificado”, são notificadas pelo responsável de secção aos responsáveis de produção. Com isto, consegue-se fornecer dados concretos, como o número de artigos fabricados, a quantidade por fabricar, o que está a ser fabricado, os equipamentos que estão imobilizados e aqueles que foram reparados.

CAPITULO 6 – Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

6.1. Conclusões

Durante inúmeros meses, no âmbito do estágio curricular realizado na empresa Solancis, foi analisado e estudado o processo produtivo da extração e transformação de uma matéria-prima, o calcário.

Sendo um negócio complexo, na medida em que a produção é realizada sob encomenda, foi expectável a dificuldade de gestão das encomendas e entrega dos produtos em conformidade com os prazos estabelecidos, devido a diversos problemas, como a paragem não planeada dos equipamentos de trabalho, os *gaps* recorrentes nos fluxos de informação entre departamentos e o controlo e previsão da produção. Deste modo, foi proposto à organização, a identificação dos equipamentos críticos e a elaboração de um plano de manutenção preventiva focado para a secção 13, bem como, encontrar uma ação benéfica para a gestão e transmissão da informação da respetiva secção e departamento de manutenção.

Assim, foi estudado primeiro o estado atual de cada equipamento, com o auxílio ao Diagrama de Pareto e ao histórico de avarias registadas no ERP da organização, entre 1 de Janeiro de 2015 e 31 de Março de 2016. Conclui-se que os que contribuíram com cerca de 80% das paragens e que cessaram a produtividade da secção foram: o equipamento Stone Mill, o Engenho Metalonegrais, a máquina de ponte tipo Gregori 084, o Robot de corte Fanuc, a máquina de ponte tipo Gregori 078 e a máquina de flamejar, perfazendo 54 paragens num total de 66. Por outro lado, e não menos relevante, também foi examinado os tempos de paragem de cada equipamento, nos quais se observou que 80% das interrupções se deveram ao Engenho Metalonegrais, à máquina de corte tipo ponte Gregori 084 e à Stone Mill, nas quais se perdeu 28,63 dias num total de 35 dias.

De forma a concluir-se o porquê deste elevado número de dias improdutivos, subdividiu-se os tempos de paragem em tempo de espera para reparação (TER) e tempos de reparação (TR). Verificou-se que dos 35 dias de paragem, 22,33 dias (63,82%) se deveram a tempos de espera para reparação, enquanto que, apenas 12,67 dias (36,18%) se deveram a tempos efetivos de reparação no equipamento. Desses 22,33 dias, 98,52% do tempo de espera para reparação foi apenas de cinco equipamentos, o Engenho, o Robot Fanuc, o equipamento Multifio, a máquina de ponte tipo Gregori 084 e a Stone Mill. Foi ainda analisado, que os elevados TER são provenientes principalmente de duas causas: da falta de peças em *stock* e do *outsourcing* realizado externamente à empresa.

Identificados os equipamentos críticos (Engenho Metalonegrais, máquina de ponte tipo Gregori 084 e 078, Multifio diamantado DECAWIRE Pellegrini, Stone Mill e Robot de corte FANUC),

seguiu-se a análise da sua tendência, bem como a do sistema reparável, de forma a se poder calcular alguns indicadores relevantes como o tempo médio de bom funcionamento (MTTB/CMTBF), o tempo médio de reparação (MTTR) e a sua disponibilidade. Assim, recorreu-se ao teste de Laplace limitado pelo tempo, que com o auxílio uma vez mais dos registos do histórico das avarias por ordem cronológica, se determinou quais os que apresentam uma taxa de falhas decrescente, constante ou crescente. Conclui-se, que dos seis equipamentos críticos, todos apresentam uma taxa de falhas constante, menos o Robot de corte FANUC, que apresenta uma taxa de falhas decrescente, o que leva a deduzir erroneamente a situação atual da secção, já que esta possui bastantes falhas e é inúmeras vezes criticada por esse mesmo motivo, no qual se constatou que este equívoco deve-se sobretudo a duas situações: a não contabilização de todas as paragens dos equipamentos na secção e a ausência de registos das intervenções realizadas internamente na empresa por entidades exteriores. Em relação aos indicadores, verificou-se que os três equipamentos que apresentaram pior disponibilidade foram: o Engenho Metalonegrais, com 94,74% e um MTBF e MTTR de 27,18 dias e 1,51 dias respetivamente, o equipamento Multifio Diamantado, com 95,53% e um MTBF e MTTR de 14,33 dias e 0,67 dias respetivamente e a máquina de corte tipo ponte Gregori 084, com uma disponibilidade de 97,68% e um MTBF e um MTTR de 33,22 dias e 0,79 dias respetivamente. A secção apresentou uma disponibilidade de 89,53% e um MTBF e um MTTR de 4,53 dias e 0,53 dias respetivamente.

Posteriormente, através da aplicação do método de Ipinza, verificou-se através de uma análise um pouco subjetiva e com a contribuição da equipa de manutenção, quais são os equipamentos críticos que necessitam da elaboração de um plano de manutenção preventiva, através de características como: o efeito que têm na produção, o seu valor técnico-económico, a probabilidade de avaria, a facilidade de reparação, etc. Constatou-se que esta necessidade é atribuída a três equipamentos, Engenho Metalonegrais, Multifio diamantado e Stone Mill.

Deste modo, antes de se elaborarem os planos de manutenção preventiva, foi necessário verificar-se qual a periodicidade de atuação nos mesmos. Para os equipamentos Multifio e StoneCut Mill, visto serem mais recentes, foi possível contactar as respetivas empresas que forneceram os produtos e obter o manual de manutenção, no qual se pode organizar e elaborar o plano de manutenção preventiva em conformidade com as características dos mesmos. Para o Engenho Metalonegrais, como se tratava de um equipamento com alguma idade, não se conseguiu obter esse mesmo manual. Assim, foi necessário definir a periodicidade com o auxílio a um *software* denominado por *Statistica 13* no qual se ajustou a taxa de falhas do equipamento a uma distribuição estatística, neste caso à distribuição de *Weibull*. Verificou-se, que o intervalo entre tarefas de manutenção preventiva para uma fiabilidade desejada de 80% e um intervalo de confiança de 95% seria de 10 dias. Foi ainda possível determinar, através da duração dos tempos de reparação de falhas, o tempo técnico de reparação ideal para uma

manutibilidade desejada de 80% e um intervalo de confiança de 95%, que seria de 4,83 horas para o limite superior de confiança, já que este em 95% dos casos garante que os parâmetros de forma e de escala serão inferiores aos valores encontrados.

A elaboração dos planos de manutenção preventiva, para além das periodicidades fornecidas ou calculadas como visto anteriormente, tiveram em comum uma característica, a manutenção autónoma, no qual se estabeleceram intervenções diárias a serem realizadas pelos operadores dos equipamentos, de forma a poupar tempo à equipa de manutenção e a garantir o bom funcionamento do mesmo por um período de tempo mais alargado. Para o equipamento Stone Mill, foi possível verificar que a causa principal das suas paragens deve-se ao Spindle. Assim, foi elaborado um plano de manutenção preventiva tendo em conta este componente, bem como outros componentes, como as chumaceiras ou os sensores, no qual se estabeleceu uma periodicidade diária, quinzenal, mensal, trimestral, semestral, anual, bienal e quinquenal. Para o equipamento Multifio diamantado, visto ser o mais recente na secção, não foi possível ainda verificar-se muitas causas das suas paragens, podendo-se aferir que a que mais incidência teve foi a falta de água. Foi elaborado um plano de manutenção preventiva com intervenções diárias, semanais, mensais, trimestrais, semestrais, anuais e bienais. Por último, o equipamento Engenho Metalonegrais apresentou como principais causas das suas paragens, avarias devido aos rolamentos, bomba de óleo e jorra. Para este, foram elaboradas intervenções periódicas diárias, a cada 10 dias, mensais e semestrais.

Para concluir, foi realizado e implementado dois quadros, um no departamento de manutenção e outro na secção 13, que têm como objetivo organizar, gerir e transmitir a informação. No departamento de manutenção, o quadro tem disposto através de cartões, todas as solicitações para reparação consoante a sua prioridade, no qual se concluiu que facilita e agiliza o processo de intervenções aos equipamentos pela equipa de manutenção. Para além disso, também ajuda a identificar os equipamentos que necessitam de peças inexistentes na empresa ou trabalhos a serem realizados por entidades exteriores, bem como conhecer aqueles que já foram reparados. Relativamente ao quadro de produção implementado na secção 13, este foi concebido e idealizado com base num quadro *kanban*. Deste modo, foi criado um *report* de acordo com o planeamento de produção, no qual se imprime e fixa semanalmente nos mesmos cartões (*kanbans*), que transmitem aos operários o que deverá de ser produzido, em que quantidade e em que tempo. Com isto, foi possível comprovar-se uma ligeira melhoria no fluxo de informação, já que todos os intervenientes da secção estão informados acerca do que têm que produzir e de forma mútua informam o departamento de produção, no qual o mesmo se poderá organizar e precaver de forma célere dos imprevistos emergentes do dia a dia.

6.2. Sugestões para trabalhos futuros

Num mundo globalizado e cada vez mais competitivo, é fundamental as organizações apresentarem uma filosofia de melhoria contínua, de forma a conseguirem seguir a rápida evolução das indústrias, apostando cada vez mais na inovação, na informação e na formação dos seus colaboradores.

Assim, apresentam-se de seguida algumas sugestões para trabalhos futuros, que complementam o presente caso de estudo e produzem outros benefícios para a empresa:

- **Análise e implementação gradual de planos de manutenção preventiva para todos os equipamentos de produção da organização**

Sugere-se que seja dada continuidade à análise desenvolvida nesta dissertação, ou seja, que sejam analisadas as fiabilidades dos equipamentos de outras secções e elaborados planos de manutenção preventiva em conformidade com as características individuais dos mesmos.

- **Estudo da aplicabilidade de um sistema RFID vs Código de barras**

Uma oportunidade de melhoria para a Solancis, seria a rápida introdução de informação no ERP da empresa. Como exemplo, temos a chegada de um bloco à indústria, no qual este só é contabilizado no sistema informático muitas das vezes passado alguns dias. Desta forma, seria benéfico a agilização deste processo, de forma a conseguir-se contabilizar rapidamente os fluxos de entrada e de saída de materiais dentro da organização, no qual, se poderia estudar qual das soluções, RFID ou código de barras, seria mais viável para contornar esta lacuna.

- **Formação e instruções de trabalho**

A indústria de transformação da pedra calcária é bastante específica e muitas das vezes operadores que tenham chegado recentemente à empresa, demoram a ficar à vontade com o seu processo de trabalho, o que pode contrair alguns erros de aprendizagem, limitar a capacidade dedutiva e futuramente prejudicar a empresa. Assim, sugere-se a introdução de ações de formação aos operadores, bem como a fixação de instruções de trabalho nos respetivos postos, de forma a se standardizar e com isso diminuir os tempos de produção e erros que poderiam ser evitados.

- **Implementação de processos de melhoria contínua**

A implementação de processos de melhoria contínua e a adoção de uma cultura *kaizen*, são fundamentais para se manter a competitividade a nível global. A aplicação de metodologias, como por exemplo o SMED (mudança rápida de ferramentas) seria bastante útil neste tipo de indústria, visto que se bem aplicado, poderia reduzir tempos demorosos na troca de blocos nos equipamentos de serragem, no qual apresentam tempo médio de 90 a 120 minutos por bloco.

Bibliografia

Ahuja, L. P. S. e Khamba, J. S. 2008. «Total productive maintenance: literature review and directions». *International Journal of Quality & Reliability Management* 25 (7): 709–56. doi:10.1108/02656710810890890.

Allison, P. D. 2010. *Survival Analysis Using SAS: A Practical Guide, Second Edition*. SAS Institute.

Ansell, J. I. e Phillips, M. J. 1994. *Practical Methods for Reliability Data Analysis*. Clarendon Press.

Ascher, H. e Feingold, H. 1984. *Repairable Systems - Modeling, inference, misconceptions and their causes*. Marcel Dekker, New York.

Bedford, T. e Cooke, R. 2001. *Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods*. Cambridge University Press.

Blischke, W. R. e Murthy, D. N. P. 2003. *Livro - Case Studies in Reliability and Maintenance*. John Wiley & Sons.

Bloom, N. B. 2006. *Reliability Centered Maintenance (RCM): Implementation Made Simple*. New York: McGraw-Hill Education.

Boyes, W. 2009. *Instrumentation Reference Book*. Butterworth-Heinemann.

Brito, M. 2003. *Manutenção – Manual Pedagógico PRONACI, AEP, 12-15*.

Cabral, J. 1998. *Organização e Gestão da Manutenção*. 3ª edição, Lidel, edições Técnicas Lda. Lisboa

Cabral, J. 2009. *Gestão da Manutenção de Equipamentos, Instalações e Edifícios*, Lidel.

CEN 2010, EN 113306:2010, European Standard: Maintenance terminology. CEN - European committee for standardization, Brussels.

Cimorelli, S. 2005. *Kanban for the Supply Chain: Fundamental Practices for Manufacturing Management*. CRC Press.

Collett, D. 2015. *Modelling Survival Data in Medical Research, Third Edition*. CRC Press.

Cox, D. R. e Oakes, D. 1984. *Analysis of Survival Data*. CRC Press.

Dhillon, B. S. 1999. *Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance*. Houston, Tex: Gulf Pub. Co.

Dhillon, B. S. 2006. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. CRC Press.

Dias, J. M. e Pereira, Z. L. 2005. Fiabilidade e gestão da manutenção de sistemas reparáveis. In C. G. Soares, A. P. Teixeira & P. Antão, *Análise e gestão de riscos, segurança e fiabilidade* (pp. 591-602). Lisboa: Edições Salamandra.

Didelet, F. 2003. *Fiabilidade*. ESTSetúbal/IPS.

Didelet, F. e Viegas, J. C. 2003. *Manutenção*. ESTSetúbal/IPS.

Dossenbach, T. 2006. Implementing total productive maintenance, *Wood and Wood Products, Journal of Quality in Maintenance Engineering* 111(2), 29-32.

Ellis, G. 2016. «Chapter 7 - Lean Product Development». Em *Project Management in Product Development*, 177–222. Boston: Butterworth-Heinemann. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128023228000073>.

EN 13306:2010. European Standard: Maintenance terminology. European committee for standardization, Brussels.

Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F. e Zanin, G. 2014. «Industrial maintenance policy development: A quantitative framework». *International Journal of Production Economics* 147, Part A (Janeiro): 85–93. doi:10.1016/j.ijpe.2012.08.018.

Gaudoin, O. 1992. «Optimal properties of the Laplace trend test for soft-reliability models». *IEEE Trans. Rel. IEEE Transactions on Reliability* 41 (4): 525–32.

Høyland, A. e Rausand, M. 2009. *System Reliability Theory: Models and Statistical Methods*. John Wiley & Sons.

Kalbfleisch, John D. e Ross L. Prentice. 2011. *The Statistical Analysis of Failure Time Data*. John Wiley & Sons.

Kececioglu, D. 2003. *Maintainability, Availability, and Operational Readiness Engineering Handbook*. DEStech Publications, Inc.

Kiran, S. Prajeeth, K. P. Sreejith, B. e Muralidharan, M. 2016. «Reliability Evaluation and Risk Based Maintenance in a Process Plant». *Procedia Technology*, International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technology (ICETEST - 2015), 24: 576–83. doi:10.1016/j.protcy.2016.05.117.

Kleinbaum, G. e Klein, M. 2005. *Survival Analysis: A Self-Learning Text*. Springer Science & Business Media.

Kniberg, H. e Skarin, M. 2010. *Kanban and Scrum - Making the Most of Both*. Lulu.com.

Kobbacy, K. A. H. e Murthy, D. N. P. 2008. *Complex System Maintenance Handbook*. Springer Science & Business Media.

Lee, Y. Makam, S. McKelvey, S. e Lu, M. 2015. «Durability Reliability Demonstration Test Methods». *Procedia Engineering*, Fatigue Design 2015, International Conference Proceedings, 6th Edition, 133 (Janeiro): 31–59. doi:10.1016/j.proeng.2015.12.621.

Levitt, J. 2009. *The Handbook of Maintenance Management*. Industrial Press Inc.

Lihou, D. A. e Spence, G. D. 1988. «Proper use of data with the Weibull distribution». *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 1 (2): 110–13. doi:10.1016/0950-4230(88)80021-4.

Limnios, N. e Ionescu, D. C. 2012. *Statistical and Probabilistic Models in Reliability*. Springer Science & Business Media.

Martorell, S. e Soares, C. G. e Julie Barnett. 2014. *Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications (4 Volumes + CD-ROM)*. CRC Press.

- McKone, K. E. Schroeder, R. G. e Cua, K. O. 1999. «Total productive maintenance: a contextual view». *Journal of Operations Management* 17 (2): 123–44. doi:10.1016/S0272-6963(98)00039-4.
- Mishra, R. C. e Pathak, K. 2012. *Maintenance Engineering and Management*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Mobley, R., K. 2011. *Maintenance Fundamentals*. Butterworth-Heinemann.
- Modarres, M., Kaminskiy, M. P. e Krivtsov, V. 2009. *Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide, Second Edition*. CRC Press.
- Moubray, J. 1997. *Historia; RCM - Reliability Centered Maintenance*. Industrial Press.
- Navas, H. 2015. *Modelos e Filosofias da Manutenção*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
- Niebel, B. W. 1994. *Engineering Maintenance Management, Second Edition*, .CRC Press.
- NP EN 15341:2009. *Norma Portuguesa para Indicadores de desempenho da manutenção (KPI)*. Instituto Português da Qualidade
- Nowlan, F. S. e Heap, H. F. 1978. *Reliability-Centered Maintenance*. Dolby Access Press.
- O'Connor, Patrick. 2002. *Practical Reliability Engineering*. Wiley.
- O'Connor, P. D. T. O'Connor, P. e Kleyner, A. 2012. *Practical Reliability Engineering*. John Wiley & Sons.
- Pathak, K. 2004. *Maintenance Engineering and Management*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Requeijo, J. 2015. *Capítulo II - Distribuições de Probabilidade em Fiabilidade*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
- Rinne, H. 2008. *The Weibull Distribution: A Handbook*. CRC Press.

Smith, D. J. 2000. *Reliability, Maintainability and Risk*. Newnes.

Sun, J. 2007. *The Statistical Analysis of Interval-Censored Failure Time Data*. Springer.

Swamidass, P. M. 2012. *Innovations in Competitive Manufacturing*. Springer Science & Business Media.

Waeyenbergh, G. e Pintelon, L. 2002. «A Framework for Maintenance Concept Development». *PROECO International Journal of Production Economics* 77 (3): 299–313.


Wärja, M. 2005. *Maintenance management of complex industrial systems a methodology for renewal strategies*. Stockholm: Elektrotekniska system. <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:14364/FULLTEXT01.pdf>.

Yan, J. 2015. *Machinery Prognostics and Prognosis Oriented Maintenance Management*. John Wiley & Sons.

Yssaad, B. Khat, M. e Chaker, A. 2014. «Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems». *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 55 (Fevereiro): 108–15. doi:10.1016/j.ijepes.2013.08.025.

Anexos

A.1. Ficha de Reparação de Equipamentos (FRE)



FICHA DE REPARAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Descrição do equipamento

N.ºEquip.:

Data da Avaria: __/__/__ Hora: __ h __ m

Número de material:

Descrição da avaria:

Operador:
Encarregado:

A preencher pelo responsável da secção:

Data do Pedido de Reparação: __/__/__ Hora: __ h __ m Ass. _____

Fotografia Video Print screen

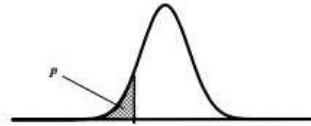
Figura A.1.1: Modelo - Ficha de Reparação de Equipamentos

A.3. Tabelas do Modelo de Crow

Tabela A.3.1: Tabela de Crow – Teste limitados por Avarias

Modelo de Crow. Teste limitado por Avarias

(Nível de significância - p)

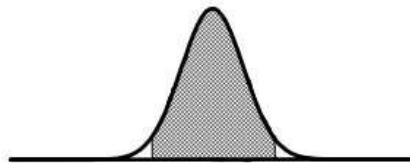


$\frac{p}{n}$.005	.010	.025	.050	.100	.900	.950	.975	.990	.995
2	.2373	.2944	.4093	.5552	.8055	33.76	72.67	151.5	309.9	783.6
3	.2627	.3119	.4054	.5137	.6840	8.927	14.24	21.96	37.60	55.52
4	.2902	.3363	.4225	.5174	.6601	5.326	7.651	10.65	15.95	21.31
5	.3151	.3603	.4415	.5220	.6563	4.000	5.424	7.147	9.995	12.63
6	.3372	.3815	.4555	.5421	.6600	3.321	4.339	5.521	7.353	9.076
7	.3563	.4003	.4760	.5543	.6555	2.910	3.702	4.555	5.953	7.162
8	.3746	.4173	.4910	.5668	.6720	2.634	3.284	4.002	5.071	5.903
9	.3905	.4327	.5046	.5780	.6787	2.435	2.999	3.583	4.469	5.211
10	.4052	.4457	.5171	.5893	.6852	2.287	2.770	3.285	4.032	4.652
11	.4185	.4595	.5285	.5979	.6915	2.170	2.600	3.051	3.702	4.233
12	.4303	.4712	.5391	.6067	.6975	2.075	2.464	2.870	3.443	3.909
13	.4422	.4821	.5488	.6150	.7033	1.993	2.353	2.721	3.235	3.650
14	.4523	.4923	.5579	.6227	.7097	1.933	2.260	2.597	3.064	3.433
15	.4627	.5017	.5664	.6299	.7139	1.877	2.182	2.493	2.921	3.262
16	.4719	.5106	.5743	.6357	.7183	1.829	2.114	2.404	2.800	3.113
17	.4807	.5189	.5813	.6431	.7234	1.788	2.055	2.327	2.695	2.985
18	.4893	.5267	.5883	.6491	.7278	1.751	2.004	2.259	2.604	2.871
19	.4967	.5341	.5954	.6547	.7320	1.718	1.959	2.200	2.524	2.777
20	.5040	.5411	.6016	.6601	.7360	1.689	1.918	2.147	2.453	2.691
21	.5110	.5478	.6076	.6652	.7398	1.662	1.881	2.099	2.390	2.614
22	.5177	.5541	.6132	.6701	.7434	1.633	1.848	2.055	2.333	2.546
23	.5240	.5601	.6186	.6747	.7469	1.616	1.818	2.017	2.281	2.484
24	.5301	.5659	.6237	.6791	.7502	1.596	1.790	1.982	2.235	2.428
25	.5359	.5714	.6286	.6833	.7534	1.578	1.765	1.949	2.192	2.377
26	.5415	.5766	.6333	.6873	.7565	1.561	1.742	1.919	2.153	2.330
27	.5469	.5817	.6378	.6912	.7594	1.545	1.720	1.892	2.116	2.287
28	.5519	.5865	.6421	.6949	.7622	1.530	1.700	1.866	2.083	2.247
29	.5563	.5912	.6462	.6985	.7649	1.516	1.682	1.842	2.052	2.211
30	.5615	.5957	.6502	.7019	.7676	1.504	1.664	1.820	2.023	2.176
35	.5829	.6158	.6681	.7173	.7794	1.450	1.592	1.729	1.905	2.036
40	.6010	.6328	.6832	.7303	.7894	1.410	1.538	1.660	1.816	1.932
45	.6163	.6476	.6952	.7415	.7981	1.378	1.495	1.605	1.747	1.852
50	.6305	.6605	.7076	.7513	.8057	1.352	1.460	1.552	1.692	1.787
60	.6533	.6823	.7267	.7670	.8184	1.312	1.407	1.496	1.607	1.689
70	.6723	.7000	.7423	.7811	.8283	1.282	1.367	1.447	1.546	1.618
80	.6887	.7148	.7553	.7922	.8375	1.259	1.337	1.409	1.493	1.564
100	.7142	.7384	.7759	.8100	.8514	1.225	1.293	1.355	1.431	1.486

Tabela A.3.2: Tabela de Crow – Teste limitado por Tempo

Modelo de Crow. Teste limitado por Tempo

(Intervalo de confiança)



n	CONFIDENCE COEFFICIENT							
	.80		.90		.95		.98	
	π_1	π_2	π_1	π_2	π_1	π_2	π_1	π_2
2	.261	18.655	.200	30.661	.159	70.004	.124	100.666
3	.333	6.326	.263	9.736	.217	14.552	.174	24.103
4	.385	4.243	.312	5.947	.262	8.093	.215	11.811
5	.426	3.356	.352	4.517	.300	5.052	.250	8.043
6	.459	2.915	.385	3.764	.331	4.739	.280	6.254
7	.487	2.615	.412	3.299	.359	4.051	.305	5.216
8	.511	2.407	.436	2.981	.382	3.609	.328	4.539
9	.531	2.254	.457	2.750	.403	3.285	.349	4.064
10	.549	2.136	.476	2.575	.421	3.042	.367	3.712
11	.565	2.041	.492	2.436	.438	2.852	.384	3.441
12	.579	1.965	.507	2.324	.453	2.699	.399	3.226
13	.592	1.901	.521	2.232	.467	2.574	.413	3.050
14	.604	1.846	.533	2.153	.480	2.469	.426	2.904
15	.614	1.800	.545	2.087	.492	2.379	.439	2.781
16	.624	1.759	.556	2.029	.503	2.302	.449	2.675
17	.633	1.723	.565	1.978	.513	2.235	.460	2.584
18	.642	1.692	.575	1.933	.523	2.176	.470	2.503
19	.650	1.663	.583	1.893	.532	2.123	.479	2.432
20	.657	1.638	.591	1.858	.540	2.076	.488	2.369
21	.664	1.615	.599	1.825	.548	2.034	.495	2.313
22	.670	1.594	.606	1.796	.556	1.995	.504	2.261
23	.676	1.574	.613	1.769	.563	1.961	.511	2.215
24	.682	1.557	.619	1.745	.570	1.929	.518	2.173
25	.687	1.540	.625	1.722	.576	1.900	.525	2.134
26	.692	1.525	.631	1.701	.582	1.873	.531	2.099
27	.697	1.511	.636	1.682	.588	1.849	.537	2.068
28	.702	1.499	.641	1.664	.594	1.825	.543	2.035
29	.706	1.486	.646	1.647	.599	1.803	.549	2.006
30	.711	1.475	.651	1.631	.604	1.783	.554	1.980
35	.729	1.427	.672	1.565	.627	1.699	.579	1.870
40	.745	1.390	.690	1.515	.646	1.635	.599	1.789
45	.758	1.361	.705	1.476	.662	1.585	.617	1.723
50	.769	1.337	.718	1.443	.676	1.544	.632	1.671
60	.787	1.300	.739	1.393	.700	1.481	.657	1.591
70	.801	1.272	.756	1.355	.718	1.435	.678	1.533
80	.813	1.251	.769	1.323	.734	1.399	.695	1.488
100	.831	1.219	.791	1.266	.758	1.347	.722	1.423

Apêndice

Apêndice 1. Aplicação do Método de Ipinza

Tabela Ap.1.1: Aplicação do Método de Ipinza aplicado ao equipamento Stone Mill

StoneCut Mill		
		
Caraterística	Condição	Pontuação
Efeito na produção	Pára	4
	Reduz	2
	Não pára	0
Valor técnico-Económico do equipamento	Alto	4
	Médio	2
	Baixo	1
Prejuízos – Consequência da Avaria	i) À máquina em sim	
	Sim	2
	Não	0
	ii) ao processo	
	Sim	3
	Não	0
	iii) ao pessoal	
	Risco	1
	Sem risco	0
Dependência logística	Estrangeiro	2
	Local	0
Dependência de Mão-de-obra	Terceiros	2
	Própria	0
Probabilidade de Avaria	Alta	1
	Baixa	0
Facilidade de Reparação	Alta	1
	Baixa	0
Flexibilidade e Redundância	Simples	2
	By-Pass	1
	Dupla	0
Total de Pontos		16

Tabela Ap.1.2: Aplicação do Método de Ipinza aplicado ao equipamento Robot de corte Multi 40 Fanuc

Robot de corte Multi 40 Fanuc		
Caraterística	Condição	Pontuação
Efeito na produção	Pára	4
	Reduz	2
	Não pára	0
Valor técnico-Económico do equipamento	Alto	4
	Médio	2
	Baixo	1
Prejuízos – Consequência da Avaria	i) À máquina em sim	
	Sim	2
	Não	0
	ii) ao processo	
	Sim	3
	Não	0
	iii) ao pessoal	
	Risco	1
	Sem risco	0
Dependência logística	Estrangeiro	2
	Local	0
Dependência de Mão-de-obra	Terceiros	2
	Própria	0
Probabilidade de Avaria	Alta	1
	Baixa	0
Facilidade de Reparação	Alta	1
	Baixa	0
Flexibilidade e Redundância	Simple	2
	By-Pass	1
	Dupla	0
Total de Pontos		11

Tabela Ap.1.3: Aplicação do Método de Ipinza aplicado ao equipamento Máquina de corte tipo ponte 084


Máquina de corte tipo ponte Gregori Impala 084		
		
Caraterística	Condição	Pontuação
Efeito na produção	Pára	4
	Reduz	2
	Não pára	0
Valor técnico-Económico do equipamento	Alto	4
	Médio	2
	Baixo	1
Prejuízos – Consequência da Avaria	i) À máquina em sim	
	Sim	2
	Não	0
	ii) ao processo	
	Sim	3
	Não	0
	iii) ao pessoal	
	Risco	1
	Sem risco	0
Dependência logística	Estrangeiro	2
	Local	0
Dependência de Mão-de-obra	Terceiros	2
	Própria	0
Probabilidade de Avaria	Alta	1
	Baixa	0
Facilidade de Reparação	Alta	1
	Baixa	0
Flexibilidade e Redundância	Simple	2
	By-Pass	1
	Dupla	0
Total de Pontos		10

Tabela Ap.1.4: Aplicação do Método de Ipinza aplicado ao equipamento Máquina de corte tipo ponte 078



Máquina de corte tipo ponte Gregori Impala 078		
		
Caraterística	Condição	Pontuação
Efeito na produção	Pára	4
	Reduz	2
	Não pára	0
Valor técnico-Económico do equipamento	Alto	4
	Médio	2
	Baixo	1
Prejuízos – Consequência da Avaria	i) À máquina em sim	
	Sim	2
	Não	0
	ii) ao processo	
	Sim	3
	Não	0
	iii) ao pessoal	
	Risco	1
	Sem risco	0
Dependência logística	Estrangeiro	2
	Local	0
Dependência de Mão-de-obra	Terceiros	2
	Própria	0
Probabilidade de Avaria	Alta	1
	Baixa	0
Facilidade de Reparação	Alta	1
	Baixa	0
Flexibilidade e Redundância	Simple	2
	By-Pass	1
	Dupla	0
Total de Pontos		10

Tabela Ap.1.5: Aplicação do Método de Ipinza aplicado ao equipamento Engenho Metalonegrais

Engenho Metalonegrais		
Caraterística	Condição	Pontuação
Efeito na produção	Pára	4
	Reduz	2
	Não pára	0
Valor técnico-Económico do equipamento	Alto	4
	Médio	2
	Baixo	1
Prejuízos – Consequência da Avaria	i) À máquina em sim	
	Sim	2
	Não	0
	ii) ao processo	
	Sim	3
	Não	0
	iii) ao pessoal	
	Risco	1
	Sem risco	0
Dependência logística	Estrangeiro	2
	Local	0
Dependência de Mão-de-obra	Terceiros	2
	Própria	0
Probabilidade de Avaria	Alta	1
	Baixa	0
Facilidade de Reparação	Alta	1
	Baixa	0
Flexibilidade e Redundância	Simple	2
	By-Pass	1
	Dupla	0
Total de Pontos	14	

Apêndice 2. Planos de Manutenção Preventiva – Equipamento Multifio Diamantado

Plano de Manutenção Preventiva - Semanal

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.


Tabela Ap.2.1: Plano de Manutenção Preventiva Semanal

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA					
	Código Equipamento: 412 Equipamento/Máquina: Multifio Setor: 13 – Seção Lancil			N° Registo _____	
	DADOS				
Data de início de Revisão		Hora		Operador	
_____ / _____ / _____		_____ : _____		_____	
Data de fim de Revisão		Hora		Operador	
_____ / _____ / _____		_____ : _____		_____	
Plano			Estado		
Semanalmente			✓	✗	Observações
Itens a serem verificados	Operação a realizar				
1. Central hidráulica de tensionamento	Controlo do nível de óleo e pressão dos cilindros de tensionamento				
2. Bomba para lubrificação automática graxa	Controlo/abastecimento do nível da graxa				
3. Bomba para lubrificação automática do óleo	Controlo/abastecimento do nível do óleo				
4. Compressor ar	Controlo correto da pressão nos manómetros dos coletores de ar				
5. Volantes tensores	Controlar o desgaste das faixas em resina				
6. Tambores guia-fio	Controlar o desgaste da garganta				
7. Tambor motor	Controlar o desgaste das faixas em resina				
8. Fim de curso com alavanca e extra-curso para subida/descida	Limpar e lubrificar o cabeçote dos fins de curso				
9. Central hidráulica de tensionamento dos fios	Lubrificar. Óleo recomendado Óleo Agip Arnica 46				
10. Cabeçotes dos fins de curso	Lubrificar				
11. Bomba de lubrificação automática graxa	Lubrificar. Lubrificante recomendado: Agip GR MU EP 1				
12. Bomba de lubrificação Óleo	Lubrificar. Óleo recomendado Óleo Agip BLASIA 68				

Plano de Manutenção Preventiva – Mensal

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

Tabela Ap.2.2: Plano de Manutenção Preventiva Mensal

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 412 Equipamento/Máquina: Multifio Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo _____
	DADOS			
Data de início de Revisão		Hora	Operador	
_____ / _____ / _____		_____ : _____	_____	
Data de fim de Revisão		Hora	Operador	
_____ / _____ / _____		_____ : _____	_____	
Plano			Estado	
Mensalmente			✓	✗
Itens a serem verificados	Operação a realizar	Observações		
1. Bomba de lubrificação automática com graxa para sapatas, rolamentos, articulações e roscas dos parafusos	Controlar a vedação do circuito			
2. Bomba de lubrificação de óleo para rolamentos dos volantes tensores	Controlar a vedação do circuito			
3. Central hidráulica para os cilindros de tensionamento	Controlar o nível do óleo e se não existem vazamentos de óleo das juntas na central hidráulica e nos volantes			
4. Correia de transmissão do motor tambor	Verificar se a tensão está correta e o estado de desgaste			
5. Compressor de ar para lubrificação automática dos rolamentos dos volantes tensores	Limpar a bateria dos filtros externos e o filtro interno do compressor. Controlar a integridade dos tubos de ar nos coletores com rolamentos nos volantes			
6. Tubos aos cilindros de tensionamento dos volantes	Controlo da fixação de todos os acoplamentos rápidos			
7. Instalação hídrica para a lavagem do fio diamantado	Limpar e remover o calcário			
8. Volantes tensores	Controlo visual dos rolamentos dos volantes			
9. Guias de tensionamento dos volantes	Limpar com gasóleo as guias e o pistão de deslizamento de cada um dos volantes de tensionamento			
10. Juntas Ar-Oleo	Lubrificar			
11. Compressor Ar	Lubrificar			

Plano de Manutenção Preventiva – Trimestral

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

Tabela Ap.2.3: Plano de Manutenção Preventiva Trimestral

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 412 Equipamento/Máquina: Multifio Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo <hr/>
	DADOS			
Data de início de Revisão		Hora	Operador	
_____ / _____ / _____		_____ : _____	_____	
Data de fim de Revisão		Hora	Operador	
_____ / _____ / _____		_____ : _____	_____	
Plano			Estado	
Trimestralmente			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Observações	
Itens a serem verificados	Operação a realizar			
1. Redutores de subida-descida	Controlar o nível do óleo e se não existem vazamentos			
2. Suportes das rodas do carro	Lubrificar. Lubrificante: AGIP GR MU EP 1			
3. Atuador de posicionamento do grupo de volantes tensores	Engraxar os parafusos - Controlar o nível de óleo do macaco			
4. Suportes do tambor do motor	Controlar se a lubrificação está correta			
5. Rolamentos do tambor guia-fio	Controlar se a lubrificação está correta			
6. Roscas nos parafusos de subida/descida	Controlo do estado de desgaste e engraxamento			
7. Parafusos de subida-descida	Controlo do desgaste e correto engraxamento			
8. Sapatas dos carros verticais	Controlo do desgaste e correto engraxamento			
9. Suporte dos parafusos da cala	Lubrificar			
10. Redutor do carro porta-blocos	Controlar se existem vazamentos de óleo			
11. Guias das sapatas nas colunas	Controlo do desgaste e limpeza com nafta (foles abertos)			
12. Foles da coluna	Controlo da integridade			
13. Testes elétricos	Verificar: o funcionamento do interruptor diferencial na linha de alimentação e a ligação da máquina à instalação de terra e a sua eficiência			

Tabela Ap.2.3: Plano de Manutenção Preventiva Trimestral

Plano		Estado		
Trimestralmente		✓	✗	Observações
Itens a serem verificados	Operação a realizar			
14. Testes de segurança	Verificar a conformidade do funcionamento em relação ao esquema elétrico da máquina: fim de curso de subida, descida e extra-cursa de subida; sensor de abertura das portas dos cárteres do volante; sensor de desgaste das roscas; fim de curso de translação carro porta-blocos; pressostato da água; sensor de fechamento das fechaduras das barreiras; dispositivo contador de horas			
15. Redutores subida-descida	Lubrificar: Óleo recomendado Óleo AGIP BLASIA 68			
16. Lubrificação da rosca	Lubrificar			

Plano de Manutenção Preventiva – Semestral

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

Tabela Ap.2.4: Plano de Manutenção Preventiva Semestral

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 412 Equipamento/Máquina: Multifio Setor: 13 – Secção Lancil		Nº Registo _____	
	DADOS			
Data de início de Revisão ____ / ____ / ____	Hora ____ : ____	Operador _____		
Data de fim de Revisão ____ / ____ / ____	Hora ____ : ____	Operador _____		
Plano		Estado		
Semestralmente		✓	✗	Observações
Itens a serem verificados	Operação a realizar			
1. Compressor de ar	Controlar o desgaste das paletes como indicado no manual das instruções do Compressor.			

Plano de Manutenção Preventiva – Anual

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

Tabela Ap.2.5: Plano de Manutenção Preventiva Anual

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 412 Equipamento/Máquina: Multifio Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo <hr/>
	DADOS			
Data de início de Revisão		Hora		Operador
_____ / _____ / _____		_____ : _____		_____
Data de fim de Revisão		Hora		Operador
_____ / _____ / _____		_____ : _____		_____
Plano			Estado	
Anualmente			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Observações	
Itens a serem verificados	Operação a realizar			
1. Correia de transmissão do motor do tambor	Substituir			
2. Juntas cardânicas dos redutores	Lubrificar			
3. Rolamentos do motor	Lubrificar. Recomendado Graxa de Lítio EP2			
4. Junta cardânica subida-descida	Lubrificar. Lubrificante recomendado: AGIP GR MU EP 1			

Plano de Manutenção Preventiva – Bienal

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

Tabela Ap.2.6: Plano de Manutenção Preventiva Bienal


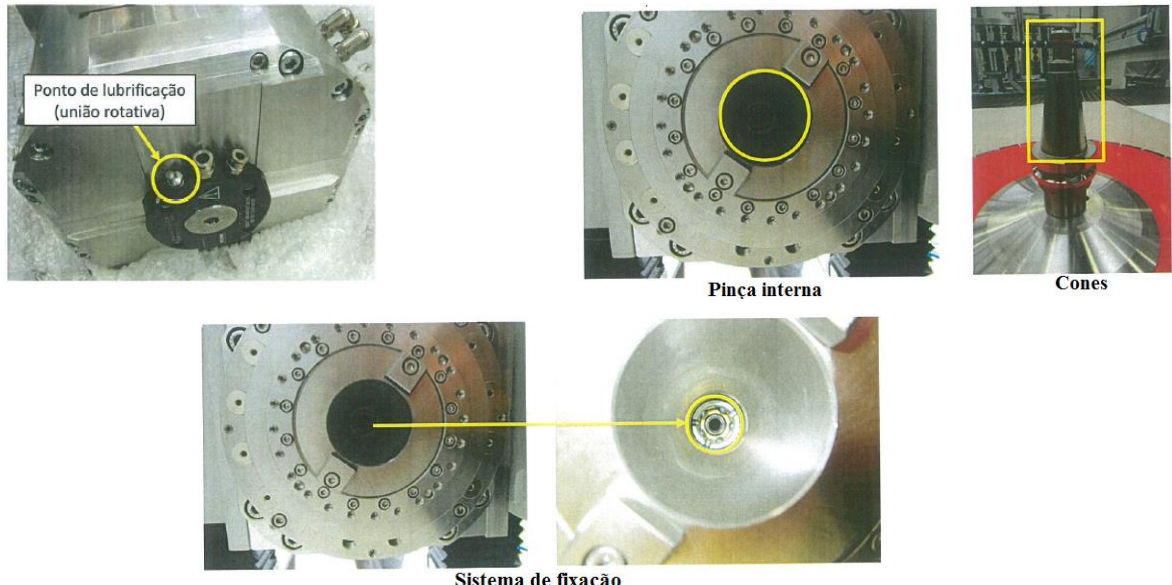
FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 412 Equipamento/Máquina: Multifio Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo <hr/>
	DADOS			
Data de início de Revisão		Hora	Operador	
____ / ____ / ____		____ : ____	_____	
Data de fim de Revisão		Hora	Operador	
____ / ____ / ____		____ : ____	_____	
Plano		Estado		
Bienal (de dois em dois anos)		✓	✗	Observações
Itens a serem verificados	Operação a realizar			
1. Redutores de subida-descida	Substituir o óleo			
2. Central de controlo hidráulico de tensionamento	Substituir o óleo e filtro			
3. Rocas com parafusos para a cala	Controlar e eventualmente substituir as duas roscas			
4. Volantes tensores	Controlar o estado de desgaste, lubrificação e pressurização de cada rolamento do volante			
5. Redutores de subida-descida	Substituição			
6. Central hidráulica de tensionamento dos fios	Substituição			

Apêndice 3. Planos de Manutenção Preventiva – Equipamento Stone Mill

Plano de Manutenção Preventiva – Quinzenal

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.


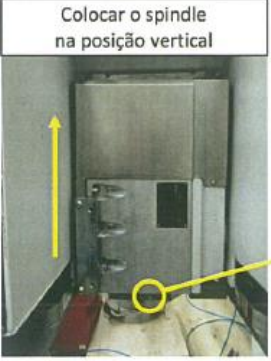
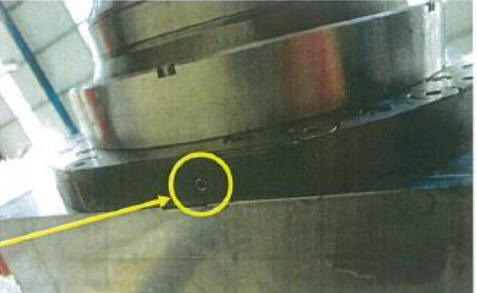



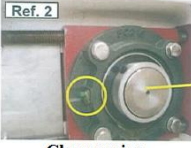
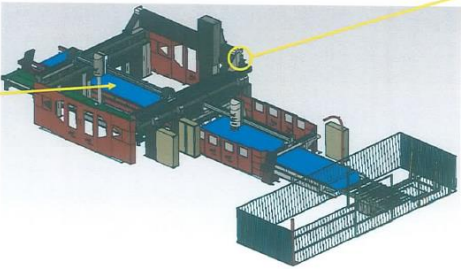
Tabela Ap.3.1: Plano de Manutenção Preventiva Quinzenal

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 993 Equipamento/Máquina: Stone Mill Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo _____
	DADOS			
Data de início de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____	Operador _____	
Data de fim de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____	Operador _____	
Plano			Estado	
Quinzenalmente			✓	✗
			Observações	
Itens a serem verificados		Operação a realizar		
1. Spindle - Pinça interna e cones		Limpeza e lubrificação da pinça interna e dos cones das ferramentas. Posteriormente Lubrificar a pinça interna e os cones.		
2. Spindle - Sistema de fixação		Lubrificar as cinco esferas do sistema de fixação		
3. Spindle - União rotativa da água		Lubrificar os vedantes internos		
Imagens Auxiliares				
				

Plano de Manutenção Preventiva – Mensal

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.


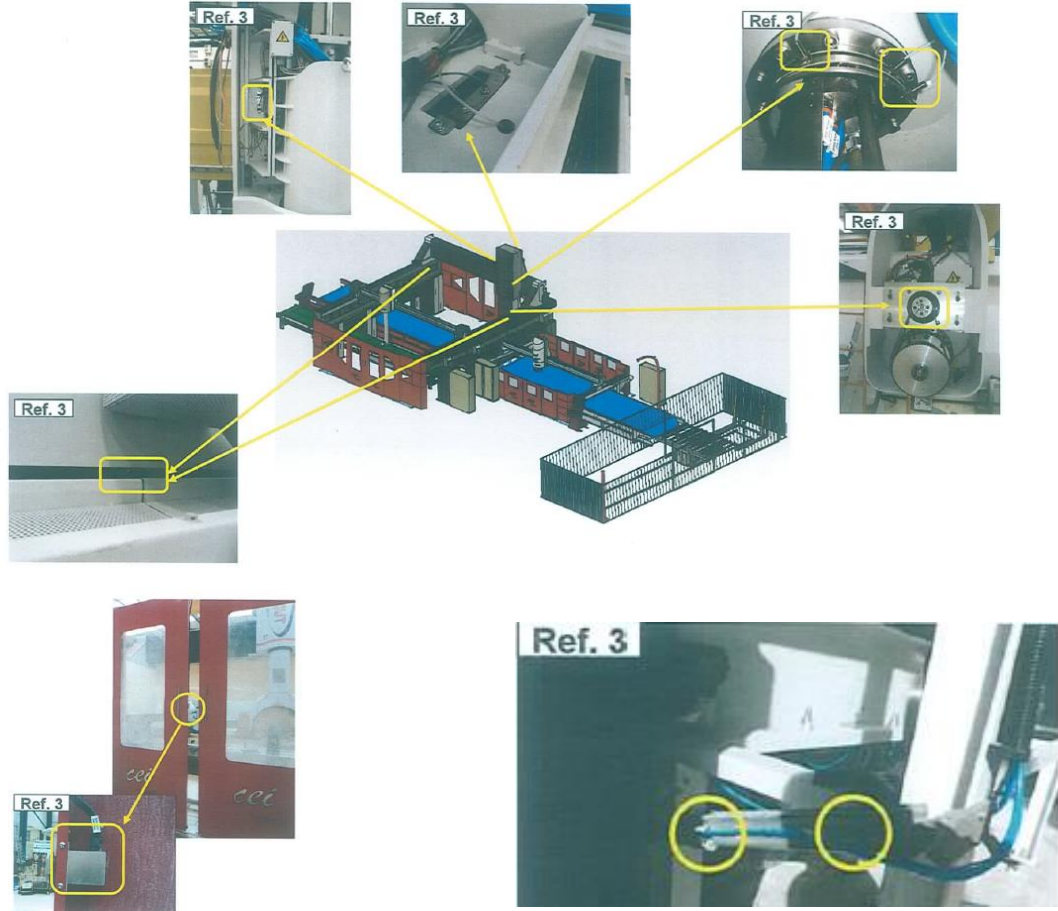
Tabela Ap.3.2: Plano de Manutenção Preventiva Mensal

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 993 Equipamento/Máquina: Stone Mill Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo
	<p style="text-align: center;">DADOS</p> Data de início de Revisão Hora Operador ____ / ____ / ____ ____ : ____ _____ Data de fim de Revisão Hora Operador ____ / ____ / ____ ____ : ____ _____			
Plano			Estado	
Mensalmente			✓	✗
			Observações	
Itens a serem verificados	Operação a realizar			
1. Spindle - União rotativa da água	Substituir união rotativa			
2. Spindle	Remover condensação no interior do spindle			
3. Central de lubrificação automática	Verificar nível de óleo e encher se necessário			
4. Chumaceiras	Lubrificar com pistola manual			
Imagens auxiliares				
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 30%;"> <p>Colocar o spindle na posição vertical</p>  </div> <div style="width: 30%;">  <p>Desapertar o parafusos para remover a condensação. Depois de remover a condensação apertar novamente o parafuso.</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>União rotativa</p>   </div> <div style="width: 30%;"> <p>Ref. 1</p>  <p>Central de lubrificação automática</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>Ref. 2</p>  <p>Chumaceira</p> </div> <div style="width: 30%;">  </div> </div>				

Plano de Manutenção Preventiva – Trimestral

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

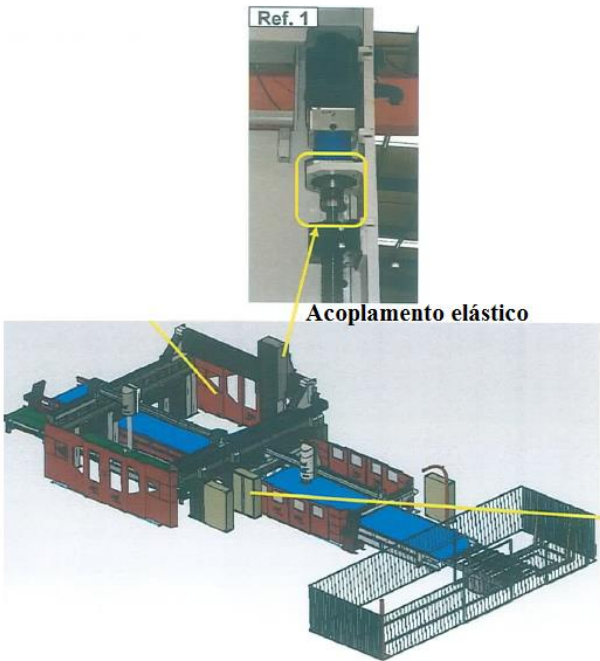
Tabela Ap.3.3: Plano de Manutenção Preventiva Trimestral

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA					
	Código Equipamento: 993 Equipamento/Máquina: Stone Mill Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo <hr/>	
	DADOS				
Data de início de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____		Operador _____	
Data de fim de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____		Operador _____	
Plano Trimestralmente			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Estado Observações
Itens a serem verificados		Operação a realizar			
1. Sensores		Inspeccionar e assistir se necessário. Reapertar.			
Imagens Auxiliares - Alguns pontos a serem inspeccionados					
					

Plano de Manutenção Preventiva – Semestral

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

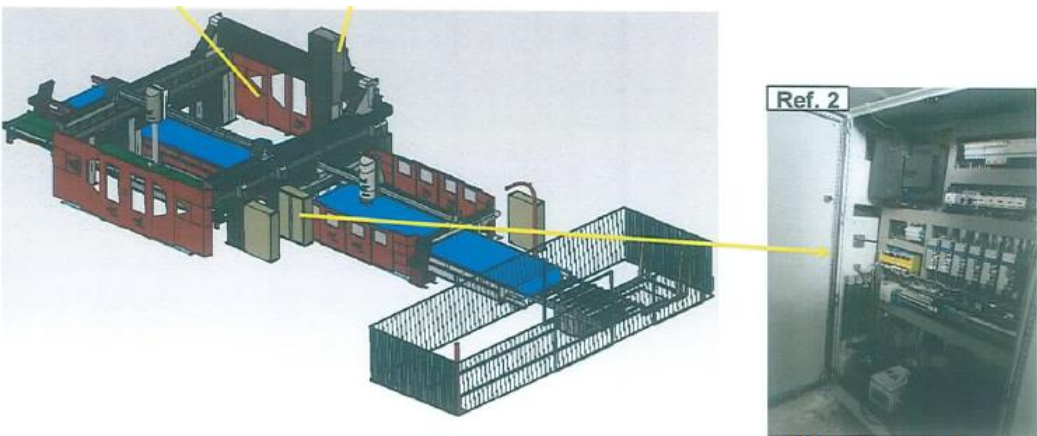
Tabela Ap.3.4: Plano de Manutenção Preventiva Semestral

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 993 Equipamento/Máquina: Stone Mill Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo <hr/>
	DADOS			
Data de início de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____	Operador _____	
Data de fim de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____	Operador _____	
Plano			Estado	
Semestralmente			✓	✗
			Observações	
Itens a serem verificados		Operação a realizar		
1. Spindle - Pinça		Verificar o desgaste da pinça		
2. Spindle - Qualidade do ar comprimido		Verificar se a qualidade do ar comprimido cumpre com a norma ISO-8573-1		
3. Acoplamento elástico		Inspeccionar e assistir se necessário. Reapertar.		
Imagem Auxiliar				
				

Plano de Manutenção Preventiva – Anual

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

Tabela Ap.3.5: Plano de Manutenção Preventiva Anual

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 993 Equipamento/Máquina: Stone Mill Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo <hr/>
	DADOS			
Data de início de Revisão		Hora		Operador
____ / ____ / ____		____ : ____		_____
Data de fim de Revisão		Hora		Operador
____ / ____ / ____		____ : ____		_____
Plano			Estado	
Anualmente			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			Observações	
Itens a serem verificados	Operação a realizar			
1. Spindle - rolamentos	Verificar o ruído e vibrações produzidas durante o trabalho			
2. Spindler - Vedantes dos cilindros	Verificar as fugas de ar comprimido através dos vedantes dos cilindros			
3. Spindle - circuito de refrigeração	Verificar o estado do circuito de refrigeração			
4. Quadro elétrico	Inspeccionar e assistir se necessário. Reapertar.			
5. Estrutura mecânica	Inspeccionar e assistir se necessário.			
Imagem Auxiliar				
				

Plano de Manutenção Preventiva – Bienal

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.


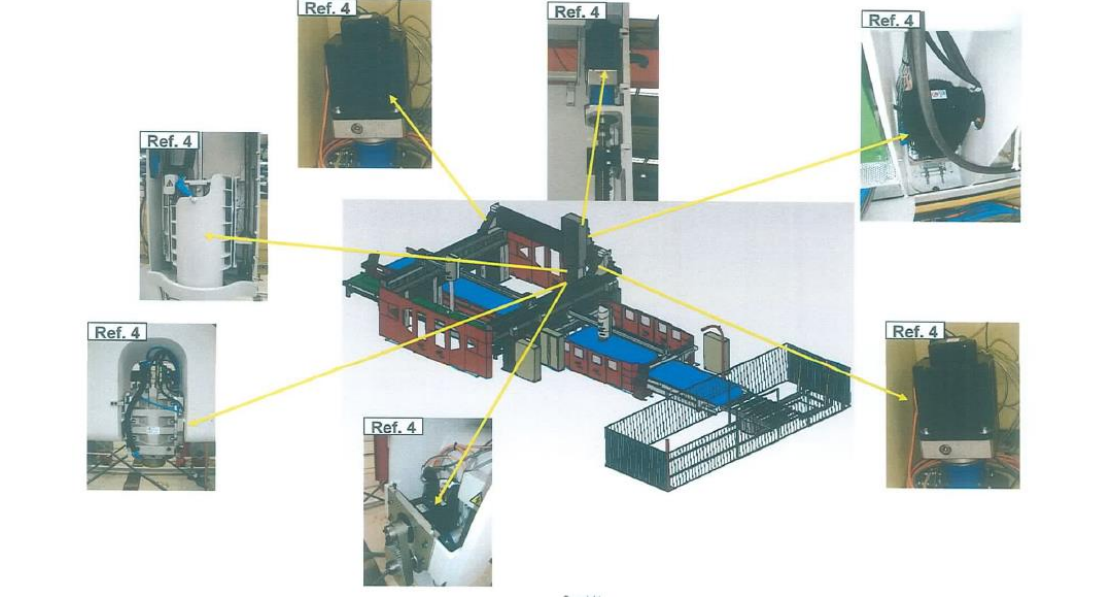
Tabela Ap.3.6: Plano de Manutenção Preventiva Bienal

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA					
	Código Equipamento: 993 Equipamento/Máquina: Stone Mill Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo _____	
	Data de início de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____	Operador _____	
Data de fim de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____	Operador _____		
Plano			Estado		
Bienalmente			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Observações
Itens a serem verificados		Operação a realizar			
1. Nivelamento da máquina		Inspeccionar e assistir se necessário. Reapertar			

Plano de Manutenção Preventiva – Quinquenal

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

Tabela Ap.3.7: Plano de Manutenção Preventiva Quinquenal





FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 993 Equipamento/Máquina: Stone Mill Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo <hr/>
	DADOS			
Data de início de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____	Operador _____	
Data de fim de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____	Operador _____	
Plano		Estado		
Quinquenalmente		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Observações
Itens a serem verificados	Operação a realizar			
1. Motor elétrico	Inspeccionar e assistir se Necessário.			
Imagens auxiliares				
				

Apêndice 4. Planos de Manutenção Preventiva – Equipamento Engenho Metalonegrais

Plano de Manutenção Preventiva – A realizar a cada 10 dias

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

Tabela Ap.4.1: Plano de Manutenção Preventiva a realizar a cada 10 dias

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
	Código Equipamento: 307 Equipamento/Máquina: Engenho Metalonegrais Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo _____
	DADOS			
Data de início de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____	Operador _____	
Data de fim de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____	Operador _____	
Plano			Estado	
A cada 10 dias			✓	✗
			Observações	
Itens a serem verificados		Operação a realizar		
1. Correntes de transmissão		Verificar a tensão da corrente e lubrificar.		
2. Biela		Lubrificar.		
3. Suportes da correia de transmissão		Lubrificar.		
4. Rolamentos do motor		Lubrificar.		
5. Volante do motor		Lubrificar.		
6. Roletes de deslizamento superior		Lubrificar.		
7. Suporte da corrente de transmissão		Lubrificar.		
8. Corrente da jorra		Lubrificar.		
9. Rodas da jorra		Lubrificar.		
10. Pinhão		Lubrificar.		
11. Chumaceiras		Lubrificar.		
Imagens Auxiliares				
				
2- Biela		11- Chumaceiras		
1- Corrente de transmissão				

Plano de Manutenção Preventiva – Mensal

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.


Tabela Ap.4.2: Plano de Manutenção Preventiva Mensal

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA					
	Código Equipamento: 307 Equipamento/Máquina: Engenho Metalonegrais Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo _____	
	DADOS				
Data de início de Revisão		Hora		Operador	
____ / ____ / ____		____ : ____		_____	
Data de fim de Revisão		Hora		Operador	
____ / ____ / ____		____ : ____		_____	
Plano			Estado		
Mensalmente			✓	✗	Observações
Itens a serem verificados	Operação a realizar				
1. Caixas	Verificar o nível de óleo mensalmente				
2. Chumaceiras da jorra	Lubrificar				
3. Embraiagem	Verificar o nível de óleo				
Imagem Auxiliar					
					
3- Embraiagem		1- Caixas			

Plano de Manutenção Preventiva – Semestral

A ser executado pelos operadores de manutenção, com o equipamento completamente parado.

Tabela Ap.4.3: Plano de Manutenção Preventiva Semestral

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA					
	Código Equipamento: 307 Equipamento/Máquina: Engenho Metalonegrais Setor: 13 – Secção Lancil			Nº Registo _____	
	DADOS				
Data de início de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____		Operador _____	
Data de fim de Revisão ____ / ____ / ____		Hora ____ : ____		Operador _____	
Plano			Estado		
Semestralmente			✓	✗	Observações
Itens a serem verificados		Operação a realizar			
1. Caixa redutora da jorra		Verificar o nível de óleo			