



TÉCNICO
LISBOA

Redução de Tempos de Paragem das Linhas de Enchimento de Pacotes de 1kg de Açúcar

Hugo Pedro Ribeiro Fontes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientadores: Prof.^a Virgínia Isabel Monteiro Nabais Infante

Prof.^a Elsa Maria Pires Henriques

Júri

Presidente: Prof. Luís Manuel Varejão de Oliveira Faria

Orientador: Prof.^a Virgínia Isabel Monteiro Nabais Infante

Vogal: Prof. Eduardo Joaquim Anjos de Matos Almas

Outubro 2015

Resumo

Hoje em dia, a globalização dos mercados e o conseqüente aumento da concorrência forçaram as empresas a aperfeiçoarem os seus sistemas produtivos, recorrendo a equipamentos e componentes cada vez mais complexos. Neste contexto, e para além de pretenderem adquirir elevados níveis de eficiência nas suas atividades, as empresas têm como um dos principais objetivos a melhoria contínua da qualidade dos seus produtos e serviços, sem nunca se afastarem do importante objetivo da rentabilidade. Desta forma, a função manutenção revela-se essencial para garantir a obtenção destes objetivos, uma vez que as atividades executadas a este nível exibem impacto direto nos custos, nos prazos e na qualidade dos produtos ou serviços.

A presente dissertação, no âmbito da gestão de manutenção, pretende assim contribuir para a melhoria contínua da eficiência global das linhas de enchimento da empresa "Sidul Açúcares". Devido à importância desta na atividade da empresa, os responsáveis da secção têm como prioridade garantir uma eficaz manutenção dos seus equipamentos, permitindo a maximização da eficiência global dos mesmos.

Deste modo, no presente caso de estudo, estabelece-se uma metodologia de análise que permite identificar as causas de perdas críticas nos equipamentos, recorrendo a uma análise da frequência de paragens, tempo médio de paragem e nível de impacto na disponibilidade da linha. Neste documento são ainda apresentadas soluções que visam eliminar ou minorar algumas dessas perdas, tais como, a realização de ações de manutenção baseadas na análise da fiabilidade dos componentes, elaboração de procedimentos de substituição ou reparação e normalização de tarefas.

Palavras-chave: Manutenção; Gestão da Manutenção; OEE; Fiabilidade; Distribuição de Weibull

Abstract

Nowadays, market globalization and the consequent increase of competition have forced companies to improve their productive systems, acquiring more and more complex equipments and components. In this context, and more than intending to acquire higher levels of efficiency in their activities, companies consider the continuous improvement in the quality of their products and services, one of their main objectives without ever disregarding the important objective that is profitability. As such, the maintenance function reveals itself as essential to guarantee the achievement of the objectives, since the activities that take place at this level reflect a direct impact on the cost, deadlines and quality of the products or services.

This thesis, regarding the maintenance management field, intends to contribute to the continuous improvement of the overall efficiency in the filling up lines of the "Sidul Açúcares" company. Due to their importance in the company activities, those in charge of the section have a priority to ensure effective maintenance of its equipments, allowing the maximization of overall equipments effectiveness.

This case study provides an analysis methodology for identifying the causes of critical losses in productive equipments, using an analysis of the stopping frequency, the average downtime and the impact in the line availability. In this document, solutions that aim to eliminate or alleviate some of these losses also presented, such as, the performing of maintenance actions based on the component reliability analysis, development of replacement or repair procedures and the tasks standardization.

Keywords: Maintenance; Maintenance Management; OEE; Reliability; Weibull Distribution

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu profundo agradecimento à Professora Elsa Henriques e à Professora Virgínia Infante pelo apoio, orientação e disponibilidade que sempre demonstraram e ainda pelo empenho e paciência com que me ajudaram a superar todas as dificuldades encontradas.

Ao Eng.º António Sérgio Marques deixar um muito obrigado pela oportunidade de desenvolver o projeto na Sidul Açúcares. Expresso ainda o meu agradecimento por toda a sua atenção e disponibilidade prestada desde o primeiro dia.

Ao Eng.º Samuel Dias pela recetividade, disponibilidade, pelo excelente acompanhamento e acima de tudo por todos os ensinamentos transmitidos.

Quero deixar um agradecimento aos colaboradores da Sidul Açúcares em geral, pela contribuição para a integração na empresa e apoio disponibilizado. Um reconhecimento especial ao Eng.º Miguel Pestana e aos colaboradores da secção de embalagem pelo enorme apoio, conhecimentos transmitidos, experiências partilhadas e sobre tudo, pelo contributo que tiveram na realização desta dissertação.

Aos meus pais, Jaime e Filipa, pelo apoio, educação e valores que me transmitiram ao longo da minha vida e por me encaminharem no sentido certo.

À Patrícia Branco, namorada e amiga, por toda a compreensão, ajuda e incentivo nos bons e maus momentos.

Aos meus amigos por todo o companheirismo, solidariedade e espírito de entreaajuda, em especial à Sofia Moreira, à Isabel Gama, ao Tiago Oliveira, ao João Soeiro e ao Jorge Silva por todo o apoio, incentivo e ajuda disponibilizada.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Motivação	1
1.3	Objetivos.....	2
1.4	Metodologia.....	2
1.5	Estrutura da Dissertação.....	2
2	Revisão Bibliográfica.....	5
2.1	Fiabilidade.....	5
2.1.1	Requisitos de Fiabilidade.....	6
2.1.2	Fiabilidade e Ciclo de Vida dos Produtos	6
2.1.2.1	Probabilidade de Falha, Fiabilidade e Taxa de Falhas.....	7
2.1.2.2	Curva de Mortalidade e Sobrevivência dos Componentes	8
2.1.3	Distribuições de Fiabilidade	9
2.1.3.1	Distribuição Exponencial Negativa.....	9
2.1.3.2	Distribuição de Gauss ou Normal	10
2.1.3.3	Distribuição de Weibull	11
2.2	Conceitos de Fiabilidade, Manutibilidade, Disponibilidade e Segurança	16
2.2.1	Manutibilidade	16
2.2.2	Disponibilidade	17
2.2.3	Segurança	18
2.3	Manutenção	18
2.3.1	Objetivos da Manutenção	19
2.3.2	Tipos de Manutenção	19
2.4	Gestão da Manutenção	20
2.4.1	Sistemas de Gestão da Manutenção	21
2.4.1.1	TPM - <i>Total Productive Maintenance</i>	22
2.4.2	Gestão de Materiais de Manutenção	24
2.4.2.1	Modelo de Revisão Periódica - Modelo P	25
2.4.2.2	Modelo de Revisão Contínua - Modelo Q	26
3	Contexto Industrial	27
3.1	Apresentação da Sidul Açúcares	27
3.2	Infraestruturas e Equipamentos.....	27

3.2.1	Secção de embalagem	27
3.3	Manutenção na secção de embalagem.....	29
4	Caso de Estudo.....	31
4.1	Decomposição da Eficiência das Linhas.....	32
4.1.1	Eficiência Global das Linhas.....	35
4.2	Análise das Perdas de Eficiência.....	37
4.2.1	Perdas de Rendimento.....	37
4.2.2	Perdas de Disponibilidade.....	38
4.3	Análise dos Eventos de Paragem por Equipamento da Linha.....	39
4.4	Análise dos Tipos de Eventos de Paragem.....	41
4.5	Estudo das Causas de Paragens.....	44
4.5.1	Cola Fria – Injetores	45
4.5.2	Lâmina de 90º.....	46
4.5.3	Etiquetadora de Topo	47
4.5.4	Limpezas e Preparação de Arranque	47
4.6	Estudo de Medidas de Melhoria	48
4.6.1	Metodologia de Análise e Cálculo da Fiabilidade	48
4.6.1.1	Preparação de Dados	49
4.6.1.2	Distribuição de Weibull	50
4.6.2	Análise de Fiabilidade	51
4.6.2.1	Estimativa de Parâmetros da Distribuição de Weibull.....	51
4.6.2.2	Fiabilidade, Probabilidade de Falha e MTBF - Sistemas	52
4.6.2.3	Função Densidade de Probabilidade e Taxa Instantânea de Falha dos Sistemas.....	55
4.6.2.4	Histograma TBF (<i>Time Between Failures</i>).....	59
4.6.2.5	Fiabilidade, Probabilidade de Falha e MTBF - Componente Cola Fria - Injetores	60
4.6.3	Propostas de Ações.....	63
4.6.3.1	Lâmina de 90º.....	63
4.6.3.2	Cola Fria - Injetores	64
4.6.3.3	Etiquetadora de Topo	68
4.6.3.4	Limpezas/Preparação de Arranque.....	68
4.6.3.5	Controlo de Ações de Manutenção	69
4.6.3.6	Sugestão de Formação	70

5	Conclusão e Trabalhos Futuros.....	71
5.1	Conclusões.....	71
5.2	Trabalhos Futuros.....	72
	Referências Bibliográficas.....	73
	Anexos.....	75
	Anexo A - Eficiência Global das Linhas de Produção.....	75
	Anexo B - Gráficos de Tempos e Frequências de Falhas por Semana de Operação.....	76
	Anexo C - Classes e Tipos de Eventos de Paragem.....	77
	Anexo C.A - Tipo de eventos de paragem da Classe “Máquina de Enchimento”.....	77
	Anexo C.B - Tipo de eventos de paragem da Classe “Aglomerador”.....	79
	Anexo C.C - Tipo de eventos de paragem da Classe “Paletizadora”.....	79
	Anexo C.D - Tipo de eventos de paragem da Classe “Envolvedora”.....	80
	Anexo C.E - Tipo de eventos de paragem da Classe “Geral”.....	80
	Anexo D - Tempos e Frequências de Eventos de Paragem.....	80
	Anexo E - Avaliação de Impacto das Classes de Paragem.....	86
	Anexo F - Avaliação de Impacto dos Tipos de Eventos de Paragem.....	87
	Anexo G - Regressão Linear para Estimativa dos Parâmetros da Distribuição de Weibull.....	88
	Anexo H - Fiabilidade e Probabilidade Acumulada de Falha.....	89
	Anexo H.A - Representação Gráfica das Funções - Sistemas.....	89
	Anexo H.B - Representação Gráfica das Funções - Componente Injetor.....	90
	Anexo H.C - Fiabilidade e Probabilidade de Falha por Dias de Missão.....	90
	Anexo I - Histogramas TBF (<i>Time Between Failures</i>).....	93
	Anexo J - Procedimentos de Reparação.....	94
	Anexo K - Normalização de Tarefas Início/Fim de Turno e Semanal.....	97
	Anexo L - Relatório de Intervenções de Manutenção.....	100

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Equilíbrio entre custo de fiabilidade e de não fiabilidade [4].	6
Figura 2.2 – Curvas de Mortalidade e Sobrevivência de um componente [4].	8
Figura 2.3 – Gráficos usando a distribuição exponencial negativa das funções densidade de probabilidade, fiabilidade e taxa de falha ou risco em função do tempo [5].	10
Figura 2.4 – Gráficos usando a distribuição Normal das funções densidade de probabilidade, fiabilidade e taxa de falha ou risco em função do tempo [5].	11
Figura 2.5 – Efeito do parâmetro de forma, β , na função densidade de probabilidade de Weibull, $f(t)$ [7].	13
Figura 2.6 – Efeito do parâmetro de forma, β , na função fiabilidade de Weibull, $R(t)$ [7].	14
Figura 2.7 – Efeito do parâmetro de forma, β , na taxa de falha de Weibull, $\lambda(t)$ [7].	14
Figura 2.8 – Efeito do parâmetro de escala, η , na função densidade de probabilidade de Weibull, $f(t)$ [7].	15
Figura 2.9 – Efeito do parâmetro de localização, γ , na função densidade de probabilidade de Weibull, $f(t)$ [7].	15
Figura 2.10 – Tipos de Manutenção.	19
Figura 2.11 – Pilares do Total Productive Maintenance [24] [25] [26].	23
Figura 4.1 – Método de cálculo do OEE pela Sidul.	33
Figura 4.2 – Método de cálculo do OEE sugerido.	34
Figura 4.3 – Total de minutos e frequência de paragens não planeadas por semana.	38
Figura 4.4 – Avaliação do impacto das classes de eventos de paragem pela conjugação das análises de frequência de eventos de paragem e tempo médio dos eventos para a linha C.	41
Figura 4.5 – Avaliação de Impacto dos tipos de eventos de paragem das classes “Máquina de Enchimento” e “Geral”, linha C.	43
Figura 4.6 – Tipos de paragem de “Impacto Elevado” por linha.	43
Figura 4.7 – Diagrama de Ishikawa para o tipo de evento “Cola Fria – Injetores”.	46
Figura 4.8 – Diagrama de Ishikawa para o tipo de evento “Lâmina de 90°”.	46
Figura 4.9 – Diagrama de Ishikawa do tipo de evento “Etiquetadora de topo”.	47
Figura 4.10 – Diagrama de Ishikawa para o tipo de evento “Limpezas/Preparação de Arranque”.	48
Figura 4.11 – Regressão linear: Número de dias entre falhas – Lâmina de 90° linha C.	51
Figura 4.12 – Funções Fiabilidade $R(t)$ e Probabilidade Acumulada de Falha $F(t)$ – Lâmina de 90° linha C.	53

Figura 4.13 – Função Densidade de Probabilidade de Falha $f(t)$ - Sistema Lâmina de 90° por linha.....	55
Figura 4.14 – Taxas Instantâneas de Falhas $\lambda(t)$ - Sistema Lâmina de 90° por linha.	56
Figura 4.15 – Função Densidade de Probabilidade de Falha $f(t)$ - Sistema Cola Fria – Injetores por linha.....	57
Figura 4.16 – Taxas Instantâneas de Falhas $\lambda(t)$ - Sistema Cola Fria – Injetores por linha. ...	58
Figura 4.17 – Função Densidade de Probabilidade de Falha $f(t)$ - Sistema Etiquetadora de Topo – Injetores – Linha D.....	59
Figura 4.18 – Taxas Instantâneas de Falhas $\lambda(t)$ - Sistema Etiquetadora de Topo - Linha D.	59
Figura 4.19 – Histograma - Número de dias entre Falhas (TBF) - Sistema Lâmina de 90° linha C.	60
Figura 4.20 – Funções Fiabilidade $R(t)$ e Probabilidade Acumulada de Falha $F(t)$ – componente “Injetor” linha C.....	62

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 – Média mensal de OEE, subindicadores e respectivos desvios padrão para linha C.....	35
Tabela 4.2 – Média semanal e desvio padrão dos tempos e frequências de paragens por linha.	39
Tabela 4.3 – Resultados da avaliação de impacto das classes de eventos de paragem por linha.....	41
Tabela 4.4 – Descrição do tipo de eventos das classes “Máquina de Enchimento” e “Geral”, na linha C.....	42
Tabela 4.5 – Tipos de eventos selecionados, respetivos tempos médios, tempos totais, frequência e percentagens relativas aos tempos totais registados num período de 12 meses em cada linha.	44
Tabela 4.6 – Valores A e B da equação de Regressão linear e parâmetros de Weibull η e β por sistema em cada linha.	52
Tabela 4.7 – Valores de coeficiente de correlação R^2	52
Tabela 4.8 – Valores de fiabilidade $R(t)$ e probabilidade de falha $F(t)$ em função do número de dias – Lâmina de 90º linha C.	54
Tabela 4.9 – MTBF (Mean Time Between Failures), em dias de operação nos diferentes sistemas por tipo de linha.....	54
Tabela 4.10 – Valores de fiabilidade $R(t)$ e probabilidade de falha $F(t)$ em função do número de dias – componente “Injetor” linha C.	62
Tabela 4.11 – MTBF (Mean Time Between Failures) em dias, do componente “Injetor” por linha.....	63
Tabela 4.12 – MTBF (Mean Time Between Failures) em dias, e parâmetros de Weibull do sistema “Lâmina de 90º” por linha.	63
Tabela 4.13 – MTBF (Mean Time Between Failures) em dias, e parâmetros de Weibull do sistema e componente - “Cola Fria - Injetores” por linha.	65
Tabela 4.14 – Exemplo da simulação da procura semanal de um “Injetor” na linha A.	66
Tabela 4.15 – Total de componentes substituídos em 520 semanas simuladas, média semanal de procura, respetivo desvio padrão e número de unidades sugeridas por linha.....	67
Tabela 4.16 – MTBF (Mean Time Between Failures) em dias, e parâmetros de Weibull do sistema “Etiquetadora de Topo” na linha D.	68

Lista de Acrónimos e Símbolos

FDP – Função Densidade de Probabilidade de falha

JIPM – Japan Institute of Plant Maintenance, Instituto japonês de manutenção de fábrica

MDT – *Mean Down Time*, Tempo médio de inatividade

MRP – *Material Requirements Planning*, Planeamento das necessidades materiais

MTBF – *Mean Time Between Failures*, Tempo médio entre falhas

MTBM – *Mean Time Between Maintenance*, Tempo médio entre manutenções

MTTF – *Mean Time to Failure*, Tempo médio para a falha

MTTR – *Mean Time to Repair*, Tempo médio de manutenção

MTTR_c – *Mean Time to Repair*, Tempo médio de manutenção corretiva

MTTR_p – *Mean Time to Repair*, Tempo médio de manutenção planeada

MUT – *Mean Up Time*, Tempo médio de atividade

NO – Nível objetivo de *stock*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*, Eficiência global do equipamento

TBF – *Time Between Failures*, Tempo entre falhas

TPM – *Total Productive Maintenance*, Manutenção produtiva total

TQM – *Total Quality Management*, Gestão da qualidade total

1 Introdução

O presente documento foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Superior Técnico, sendo o objetivo do mesmo apresentar o trabalho desenvolvido durante o primeiro semestre do ano letivo 2014/2015. Este trabalho foi realizado com o contributo da empresa Sidul Açúcares Unipessoal, Lda.

1.1 Enquadramento

O aumento da concorrência imposto pela globalização dos mercados e a intenção de satisfazer as crescentes exigências por parte dos clientes em termos de qualidade, custos e prazos de entrega dos produtos, conduzem as empresas a uma constante otimização e melhoria dos seus sistemas produtivos.

A indústria de refinação de açúcar em Portugal é um setor extremamente competitivo, contando apenas com três empresas. Desta forma e a fim de se destacar da concorrência, a Sidul Açúcares, tem vindo a procurar o aumento da qualidade e a diminuição dos tempos e custos de produção. Com vista a uma constante procura de melhoria, a empresa adotou uma filosofia de gestão *Lean*, a fim de reduzir todos os tipos de desperdícios existentes nas diferentes áreas da empresa.

Nas áreas de produção, um dos alvos da gestão *Lean* é a manutenção devido à sua importância no processo produtivo, contribuindo de uma forma intensiva para a eficiência dos equipamentos e infraestruturas em termos de disponibilidade, desempenho, segurança, qualidade de produto, rentabilidade e imagem da própria empresa.

De modo a potenciar o contributo da manutenção para a rentabilidade da empresa, a procura de um ponto de equilíbrio entre o benefício e o custo é uma das tarefas mais complexas dos responsáveis pela sua gestão. Com este propósito, os responsáveis encontraram na ideologia *Total Productive Maintenance*, um importante auxílio na gestão da manutenção em sintonia com a produção.

1.2 Motivação

Com uma importância significativa no setor da refinação de açúcar em Portugal, a Sidul Açúcares possui um foco contínuo na satisfação do cliente. Assim, de modo a manter-se competitiva e a concretizar o fornecimento de produtos de excelente qualidade com reduzidos *stocks* e diminutos prazos de entrega, a Sidul tem o contínuo objetivo de melhorar a eficiência global dos seus equipamentos de produção.

A constante procura da melhoria da eficiência global do sistema de produção é um dos objetivos principais do departamento de manutenção da empresa. A presente dissertação pretende contribuir para o melhoramento da eficiência global existente, sendo a disponibilidade e desempenho dos equipamentos, da secção de embalagem da empresa, os principais pontos de atenção.

1.3 Objetivos

O presente estudo apresenta como principal objetivo a maximização da eficiência global dos equipamentos de produção na secção de embalagem da empresa. De modo a concretizar o objetivo proposto, neste trabalho pretende-se:

- Analisar as eficiências globais dos equipamentos das linhas de enchimento de pacotes de 1kg de açúcar, recorrendo ao histórico de dados disponibilizados;
- Avaliar e classificar os eventos de paragem críticos, existentes nos equipamentos em termos de tempo e frequência de paragem;
- Estudar as causas das perdas críticas dos equipamentos;
- Definir soluções que visam a eliminação ou minoração dessas perdas, recorrendo à normalização de tarefas dos operadores, cálculo de fiabilidade de componentes e elaboração de procedimentos de substituição ou reparação.

1.4 Metodologia

Inicialmente procurou-se, em conjunto com a empresa Sidul, identificar as suas carências, de modo a ser possível definir um tema para a dissertação com benefício mútuo. Após a escolha do tema, iniciou-se um período de acompanhamento das atividades na empresa. Nesta fase foi possível compreender o sistema de embalagem e recolher um conjunto de informações relevantes com vista ao desenvolvimento do caso de estudo, recorrendo à observação do sistema, dos operadores e equipamento que nele intervêm, bem como à consulta de documentação disponibilizada. Em simultâneo procurou-se, através de revisão bibliográfica, analisar as temáticas articuladas com o caso de estudo, sendo estas relacionadas com a eficiência global de equipamentos.

Após este período, procedeu-se ao tratamento de dados e informações recolhidas, tornando-se possível a análise e elaboração de soluções que visam a eliminação ou minoração das perdas da eficiência.

Durante o desenvolvimento do trabalho, sempre que necessário, recorreu-se à consulta de informação na empresa, sendo ela em forma de dados numéricos e informação documental ou informações fornecidas pelos seus colaboradores. Verificou-se também, neste período, a implementação de algumas das soluções apresentadas.

1.5 Estrutura da Dissertação

O documento apresentado encontra-se estruturado em cinco capítulos, sendo o primeiro destes a presente introdução. O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica necessária para o desenvolvimento do caso de estudo, onde são abordados os conceitos de manutenção, gestão de manutenção, fiabilidade e *Total Productive Maintenance*. O terceiro capítulo apresenta a empresa Sidul Açúcares quanto à sua origem, tipo de negócio e em particular a secção onde se insere o caso prático,

quanto à sua organização e tipo de equipamentos. O estudo do caso prático é desenvolvido no quarto capítulo, com a descrição de todo o trabalho efetuado, desde a sua delineação à apresentação de soluções que visam a melhoria da eficiência global das linhas abordadas. Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho realizado e as recomendações para trabalhos a desenvolver futuramente.

2 Revisão Bibliográfica

No decorrer do presente capítulo apresentam-se os conceitos relacionados com a eficiência global dos equipamentos, nomeadamente a fiabilidade, manutibilidade, disponibilidade, manutenção, gestão da manutenção e *Total Productive Maintenance*.

2.1 Fiabilidade

O conceito de fiabilidade pode ser confundido com o de qualidade, ou seja, pode ser entendido como uma propriedade que pode alterar-se ao longo do tempo de vida de um produto ou serviço, porém a fiabilidade entende-se como a capacidade de um produto continuar a funcionar satisfatoriamente durante esse tempo.

Facilmente associado ao conceito de confiança de um produto [4], de acordo com a norma NP EN 13306 a fiabilidade é “a aptidão de um bem para cumprir uma função requerida, sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo” [1]. De forma mais precisa e tendo em atenção a natureza aleatória da ocorrência de falhas ou avarias nos equipamentos durante o intervalo de tempo de utilização, a fiabilidade pode ser definida como “a probabilidade de um órgão funcionar satisfatoriamente (ou cumprir a ação requerida) durante um certo intervalo de tempo (ou missão) sob condições especificadas” [2].

Os termos “falha” ou “avaria” são praticamente sinónimos, estes referem-se à cessação do funcionamento do item ou à degradação de algum dos seus parâmetros de desempenho para além de um nível limite. Porém “falha” apresenta um significado mais amplo, como o resultado da ultrapassagem de limites mínimos ou máximos das funções de um item, já “avaria” refere-se a um caso particular da falha como sendo a “manifestação da inaptidão de um dado item realizar um determinado padrão de desempenho previamente especificado” [3].

A fiabilidade, como probabilidade de um acontecimento futuro, constitui um “estado do conhecimento das coisas” e nunca o “estado real ou intrínseco das coisas” [4]. Ou seja, este estado de conhecimento pode representar uma estimativa sobre o comportamento de um sistema e é tanto mais fiel quanto mais longa for a experiência ou a dimensão da amostra de sistemas idênticos observados. Os dados necessários para o cálculo da fiabilidade podem ser obtidos pelos [4]:

- Fabricantes, sendo os dados obtidos por ensaios normalizados, a qual corresponde à fiabilidade intrínseca resultante da qualidade inerente do projeto;
- Utilizadores, que corresponde à fiabilidade extrínseca ou demonstrada, que resulta da experiência real, em serviço do equipamento ou aplicação (este utilizador pode também fornecer os dados ao fabricante);
- Base de dados Públicas.

2.1.1 Requisitos de Fiabilidade

Face à competitividade existente no mercado é essencial conceberem-se e produzirem-se equipamentos com níveis de desempenho crescentes. Devido a esta circunstância, os equipamentos tendem a ser cada vez mais complexos, oferecendo um maior número de funções e uma maior capacidade produtiva. Este aumento de complexidade, por sua vez, traduz-se num provável aumento de falhas, comprometendo o nível de fiabilidade dos equipamentos. Com o propósito de aumentar os atributos de desempenho e fiabilidade dos equipamentos, por vezes de forma simultânea, a engenharia é constantemente confrontada com a questão dos custos associados. Importa, por isso, encontrar o melhor compromisso entre o custo de obtenção de uma fiabilidade elevada e o custo resultante de uma não fiabilidade, ou seja, o custo consequente das falhas. A otimização destes custos contribui diretamente para a maximização da rentabilidade de uma empresa e encontra-se ilustrada na figura 2.1, onde se pode observar a evolução dos custos associados ao nível de fiabilidade pretendida e ao nível de frequência de falhas num determinado item [4].

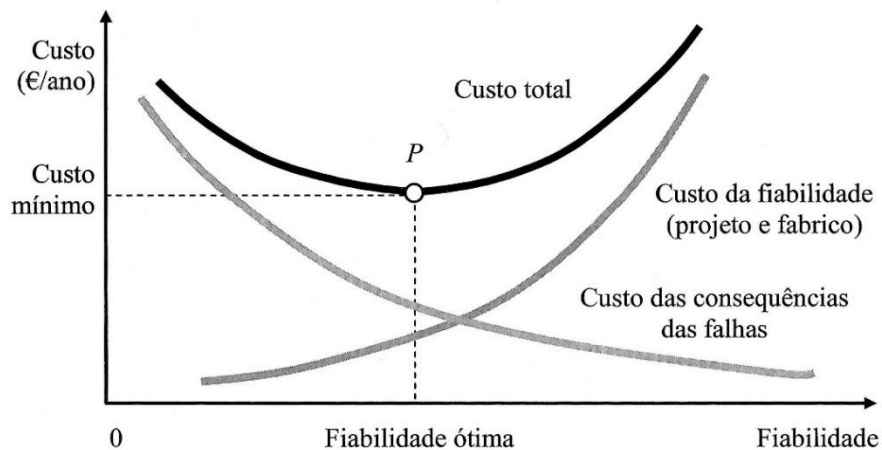


Figura 2.1 – Equilíbrio entre custo de fiabilidade e de não fiabilidade [4].

2.1.2 Fiabilidade e Ciclo de Vida dos Produtos

Como anteriormente analisada, a noção de fiabilidade encontra-se associada à probabilidade de um item cumprir a sua função em conformidade, dependendo de um determinado período de tempo e condição de serviço. Portanto, apresentando $t = 0$ como estado inicial de um item, a probabilidade do mesmo não falhar até ao instante $t = T$ designa-se de fiabilidade. Assim sendo, a função Fiabilidade $R(t)$, considerando T_F o tempo decorrido até ao instante da falha, é apresentada da seguinte forma [3]:

$$R(t) = P\{T_F > t\} \quad (2.1)$$

em que $R(t)$ é a probabilidade do item apenas falhar depois de atingido o limite superior do intervalo de tempo considerado na análise. Esta função é contínua em t e normalmente decrescente a partir do início da operação, admitindo-se que no instante inicial o item não falha e, assim sendo, a fiabilidade é máxima, $R(0) = 1$, e que nenhum item tem vida infinita, $R(\infty) = 0$.

Para o caso da operação se realizar no intervalo de tempo $\Delta t = T_2 - T_1$, e que em T_1 o item já apresente uma dada idade acumulada, tem-se então uma probabilidade condicionada e esta é representada por [3]:

$$R(\Delta t|T_1) = P\{T_F > T_2 = T_1 + \Delta t | T_F > T_1\} \quad (2.2)$$

pelo que o cálculo de fiabilidade de um item apenas caracteriza o estado deste durante um determinado intervalo de tempo, assumindo que não tenham existido falhas antes de T_1 e este não se avarie antes de T_2 .

2.1.2.1 Probabilidade de Falha, Fiabilidade e Taxa de Falhas

Adotando a fiabilidade como uma probabilidade de “sobrevivência”, representada por R (Reliability) e como sua complementar uma probabilidade de falha, designada por F (Failure), ao considerar-se um equipamento de N componentes iguais, dos quais N_f falham e os restantes N_s permanecem sem falha no momento T , podem-se definir as seguintes expressões [4]:

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N} \quad (2.3)$$

$$F(t) = \frac{N_f(t)}{N} \quad (2.4)$$

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.5)$$

Derivando-se a expressão 2.4 em ordem a t , obtém-se uma função de probabilidade instantânea de falha em T , normalmente designada por função densidade de probabilidade (FDP) de falha $f(t)$ [4]:

$$\frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN_f(t)}{dt} = f(t) \quad (2.6)$$

Assim $f(t)$ traduz a percentagem de componentes que falham no momento T por unidade de tempo, ou intervalo de tempo dt , relativamente à população inicial N . Ao integrar-se a função $f(t)$ entre o limite inferior $t = 0$ e o limite superior $t = T$, será obtida novamente a função de probabilidade de falha $F(t)$:

$$F(t) = \int_0^T f(t) dt \quad (2.7)$$

e pela relação da equação 2.5 é possível deduzir a função de fiabilidade:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^T f(t) dt = \int_T^\infty f(t) dt \quad (2.8)$$

Recorrendo a uma relação de probabilidade, é ainda possível conhecer a taxa de falhas instantânea $\lambda(t)$. Como probabilidade instantânea condicional de falhas, esta função traduz a taxa a que os componentes falham por unidade de tempo, no momento T , em relação ao número de componentes sobreviventes N_s até T . A taxa de falhas instantânea, $\lambda(t)$, pode então ser calculada por:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.9)$$

Resolvendo-se a expressão 2.9 em ordem a $R(t)$ e integrando o resultado entre 0 e T , obtém-se a equação geral de fiabilidade, passível de ser aplicada a qualquer distribuição de probabilidade de falha e apresentada por [4]:

$$R(t) = e^{-\int_0^T \lambda(t) dt} \quad (2.10)$$

O indicador MTTF (*Mean Time to Failure*), ou seja, o tempo médio de falha de um componente não reparável, sugere uma ideia simples da fiabilidade de um componente e pode ser calculado por:

$$MTTF = \int_0^{\infty} T \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.11)$$

Este indicador, no entanto, pode também ser designado como MTBF (*Mean Time Between Failures*) no caso de sistemas reparáveis.

2.1.2.2 Curva de Mortalidade e Sobrevivência dos Componentes

As funções de Fiabilidade $R(t)$, probabilidade de falha $F(t)$, taxa instantânea de falha $\lambda(t)$ (ou função de risco $h(t)$) e densidade de probabilidade de falha $f(t)$ podem ser consideradas como leis da vida dos componentes e pela sua representação gráfica obtêm-se as suas curvas Mortalidade e Sobrevivência (figura 2.2). A curva representada pela função taxa de falha $\lambda(t)$ ou função de risco $h(t)$, é normalmente conhecida como “curva da banheira” devido à forma gerada pela função nas diferentes fases de vida de um componente. Esta curva é então composta por três fases ou períodos de diferentes comportamentos caraterísticos de vida de um componente. Cada uma destas fases é designada de fase de Mortalidade Infantil ou período de Infância, fase de Vida Útil ou período de Maturidade e fase de Desgaste ou período de Degradação [4].

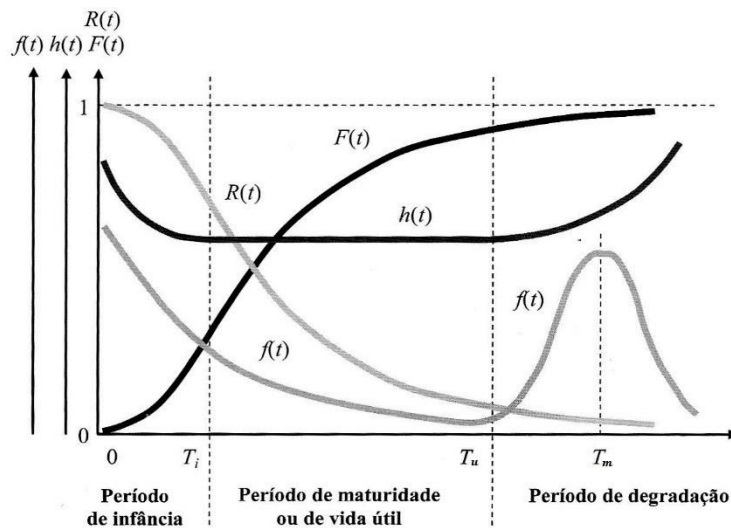


Figura 2.2 – Curvas de Mortalidade e Sobrevivência de um componente [4].

No início de funcionamento em que um componente é novo, este apresentará uma taxa de falha elevada, a qual decrescerá rapidamente até que o componente atinja uma idade T_i . Esta fase dá pelo nome de Mortalidade Infantil e este comportamento deve-se geralmente a defeitos de projeto, defeitos de fabrico, montagem ou instalação incorretas. Este problema pode ser minimizado através de

um maior rigor nas fases de projeto, melhor qualidade dos processos de fabrico e ainda pela realização de testes aos produtos em condições de serviço simulado (testes de *burn-in*) [4].

No fim da primeira fase, quando todos os componentes imperfeitos já falharam, inicia-se uma fase em que a taxa instantânea de falha estabiliza num valor aproximadamente constante. Esta fase é designada de fase de Vida Útil e a ocorrência de falha é de natureza casual, normalmente devido a solicitações de operação superiores às projetadas. O período de Vida Útil decorre até uma idade do componente T_u e normalmente ocupa grande parte da vida do componente em serviço. Durante este período a função densidade de probabilidade de falha e a função fiabilidade, são ambas funções exponenciais negativas pelo facto da taxa de falhas não depender do tempo, tomando um valor constante [3].

Por último, devido à manifestação de degradação do componente e com início em T_u , surge a fase de Desgaste que é caracterizada pelo crescimento acentuado da taxa instantânea de falhas. A degradação do componente pode ter origem em vários aspetos como a fadiga, corrosão ou desgaste nos componentes, pelo que a manifestação desta fase deve ser evitada recorrendo-se à manutenção preventiva antes da idade T_u . Desta forma, a localização desta idade é fundamental e coincide com o início do crescimento acentuado da função instantânea de falha e a tendência da função densidade de probabilidade se centrar em torno de uma idade média T_m . Verificando-se que a probabilidade do componente atingir T_m é cerca de metade da probabilidade de este atingir T_u , torna-se possível aplicar uma distribuição normal de probabilidade de falha a esta fase.

2.1.3 Distribuições de Fiabilidade

Para a realização de análises de fiabilidade, entende-se como necessário o uso de distribuições estatísticas que se adequem a cada fase da vida apresentada pelos componentes. As mais frequentemente utilizadas são a distribuição de Weibull, a distribuição exponencial negativa e a distribuição normal ou Gauss.

2.1.3.1 Distribuição Exponencial Negativa

Durante a fase de Vida Útil, em que as falhas ocorrem de forma aleatória com uma taxa de avaria constante e como tal seguindo uma distribuição exponencial, as funções densidade de probabilidade, fiabilidade e risco, que se encontram ilustradas na figura 2.3, apresentam-se da seguinte forma [5]:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0 \text{ e } f(t) = 0, t < 0 \quad (2.12)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad (2.13)$$

$$h(t) \text{ ou } \lambda(t) = \lambda = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{MTBF} \quad (2.14)$$

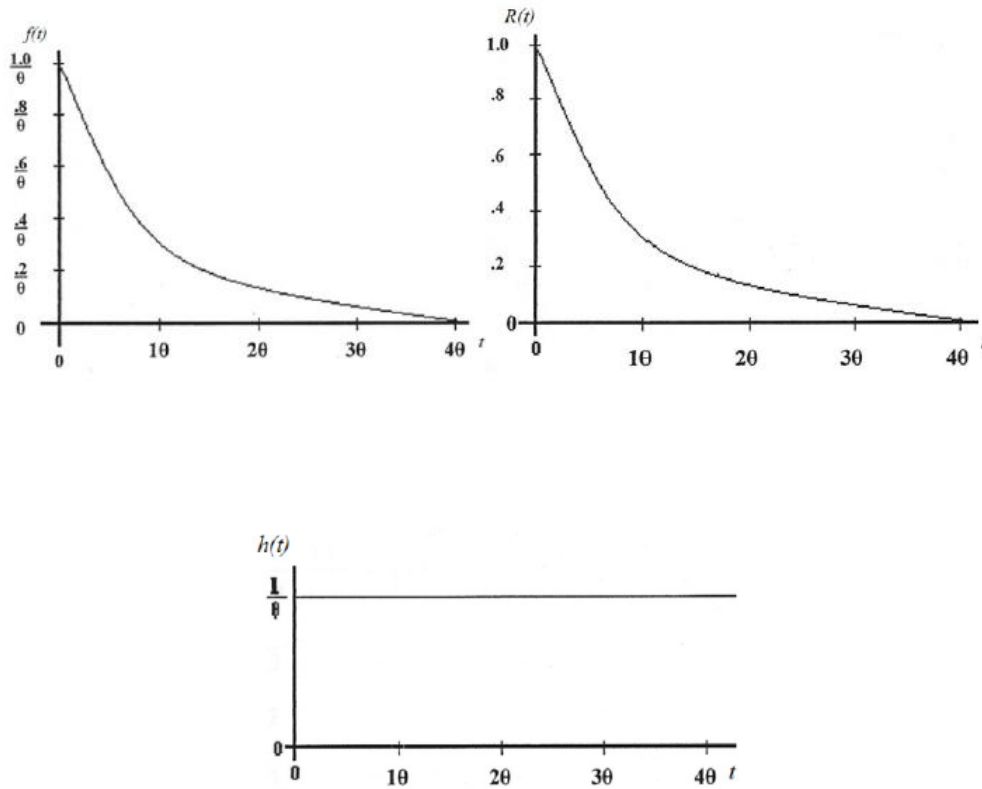


Figura 2.3 – Gráficos usando a distribuição exponencial negativa das funções densidade de probabilidade, fiabilidade e taxa de falha ou risco em função do tempo [5].

2.1.3.2 Distribuição de Gauss ou Normal

Como anteriormente descrito, o comportamento da função densidade de probabilidade durante a fase de Desgaste em tudo se assemelha a uma distribuição normal. Esta é caracterizada por um valor médio de distribuição μ (parâmetro de localização) e uma variância σ^2 (parâmetro de escala). As funções densidade de probabilidade, fiabilidade e risco, encontram-se ilustradas na figura 2.4 e apresentam-se da seguinte forma [5]:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.15)$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2.16)$$

$$h(t) \text{ ou } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.17)$$

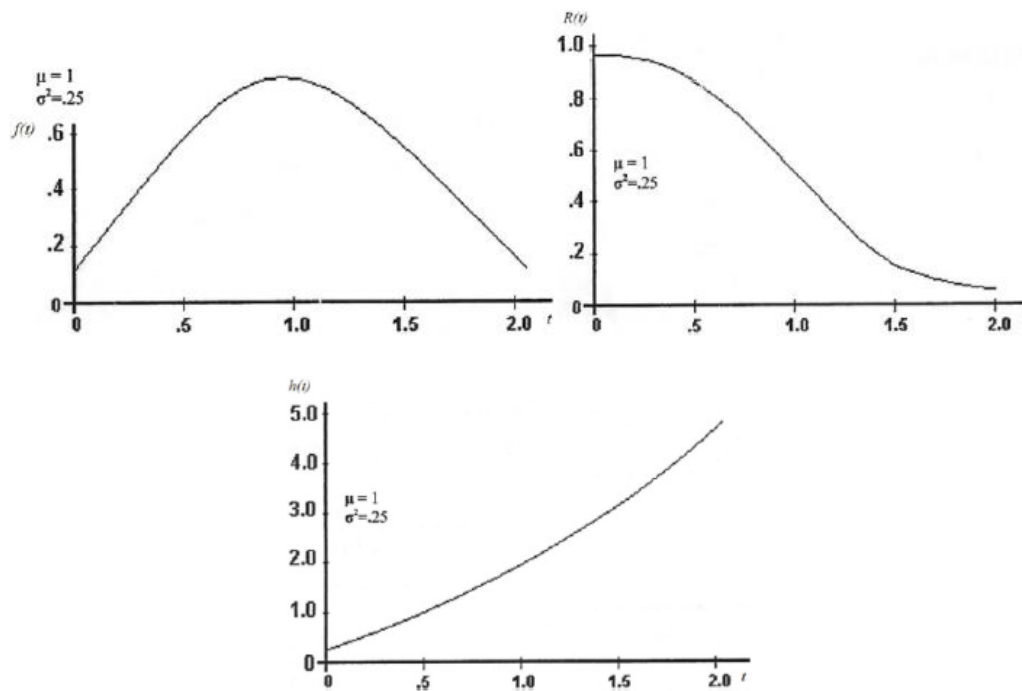


Figura 2.4 – Gráficos usando a distribuição Normal das funções densidade de probabilidade, fiabilidade e taxa de falha ou risco em função do tempo [5].

2.1.3.3 Distribuição de Weibull

Devido à sua versatilidade na caracterização de qualquer fase de vida de um componente, a distribuição de Weibull, é sem surpresa a escolha usual nas práticas de engenharia. Esta, pela manipulação dos seus três parâmetros, tem a capacidade de se ajustar a uma grande variedade de formas de distribuições de probabilidade reais.

Um dos seus parâmetros é o parâmetro de localização ou vida sem avarias, γ , que possibilita definir a distribuição a partir de uma idade sem falhas $t = \gamma$ e não necessariamente a $t = 0$.

Um outro parâmetro é o parâmetro de forma, β , que traduz os mecanismos de degradação do componente, cujo ajuste permite adaptar a distribuição de Weibull a qualquer região da “curva da banheira”.

Por fim, o parâmetro de escala ou vida característica, η , caracteriza a vida do componente após o instante γ e por norma corresponde ao intervalo de tempo em que ocorrem cerca de 63,2% das falhas. Caso se considere a hipótese de surgirem falhas logo após o componente entrar em funcionamento, o parâmetro de localização ou vida sem avaria assume o valor nulo, $\gamma = 0$, e a distribuição de Weibull pode ser composta apenas pelos outros 2 parâmetros [3].

Distribuição de Weibull com 3 Parâmetros

A forma mais geral da função densidade de probabilidade de Weibull é definida em função de 3 parâmetros (γ, β, η) e aplica-se a casos em que não se verificam falhas num determinado componente antes de um dado instante γ . A função densidade de probabilidade de Weibull é expressa então da seguinte forma [4]:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.18)$$

em que: $f(t) \geq 0$; $t \geq \gamma$; $\beta > 0$; $\eta > 0$; $-\infty < \gamma < +\infty$

Deste modo, as funções fiabilidade $R(t)$, probabilidade acumulada de falhas, $F(t)$, taxa de falhas, $\lambda(t)$, e tempo médio entre falhas (MTBF) são dadas por [3]:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.19)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.20)$$

$$h(t) \text{ ou } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.21)$$

$$MTBF = MTTF = \gamma + \eta \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.22)$$

onde $\Gamma()$ é a função gama definida por: $\Gamma(n) = \int_0^\infty e^{-x} x^{n-1} dx$

Distribuição de Weibull com 2 Parâmetros

Como anteriormente descrito, no caso de existir hipótese de surgirem falhas logo após o componente entrar em funcionamento, o parâmetro de localização ou vida sem avaria assume valor o nulo, $\gamma = 0$. Assim a função densidade de probabilidade de Weibull pode ser definida em função de apenas 2 parâmetros (β, η), e expressa-se da seguinte forma [3]:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.23)$$

Para esta situação as funções fiabilidade $R(t)$, probabilidade acumulada de falhas $F(t)$, taxa de falhas $\lambda(t)$ e tempo médio entre falhas (MTBF) são dadas por [3]:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.24)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.25)$$

$$h(t) \text{ ou } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.26)$$

$$MTBF = MTTF = \eta \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.27)$$

Caraterísticas da distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull, dependendo dos valores dos parâmetros, pode ser utilizada para caraterizar os mais variados comportamentos de vida de um componente. Cada um dos parâmetros influencia de forma diferente a distribuição de Weibull, tornando-se relevante conhecer o efeito de cada um.

Efeitos do parâmetro de Forma, β

Este parâmetro é um número adimensional e traduz os mecanismos de degradação de um componente. Os ajustes no seu valor permitem que as equações de distribuição de Weibull sejam reduzidas às equações de outras distribuições. O parâmetro β , vulgarmente apelidado de parâmetro de forma, pode ser estimado através de uma regressão linear de um gráfico de probabilidade, e o seu valor igual ao valor do declive da linha de regressão.

Quando este parâmetro toma valores de aproximadamente $\beta = 3,5$, a distribuição de Weibull assume a forma da distribuição normal. No caso do valor de $\beta = 1$ a distribuição de Weibull coincide com a distribuição exponencial negativa [6].

Na figura 2.5 pode observar-se o efeito de diferentes valores de β na forma da função densidade de probabilidade de Weibull, em que para:

- $\beta = 1$, a função densidade de probabilidade descreve uma distribuição Exponencial com $\lambda = \frac{1}{\eta}$, onde η é o parâmetro de escala;
- $\beta > 1$, a função densidade de probabilidade aproxima-se de uma distribuição Normal para $\beta = 3,5$;
- $\beta < 1$, a função densidade de probabilidade aproxima-se de uma distribuição Gama.

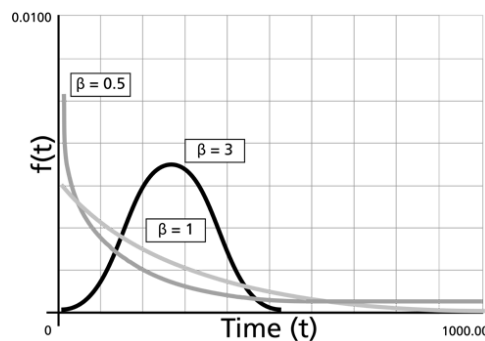


Figura 2.5 – Efeito do parâmetro de forma, β , na função densidade de probabilidade de Weibull, $f(t)$ [7].

O efeito do parâmetro β na função fiabilidade, $R(t)$, pode ser observado na figura 2.6, onde se verifica que para:

- $\beta < 1$, a função fiabilidade decresce monotonicamente e acentuadamente, apresentando uma forma convexa;
- $\beta = 1$, a função fiabilidade decresce monotonicamente, mas menos acentuadamente que para $\beta < 1$ e apresentado uma forma convexa;
- $\beta > 1$, a função fiabilidade apresenta um ponto de inflexão e decresce de forma acentuada.

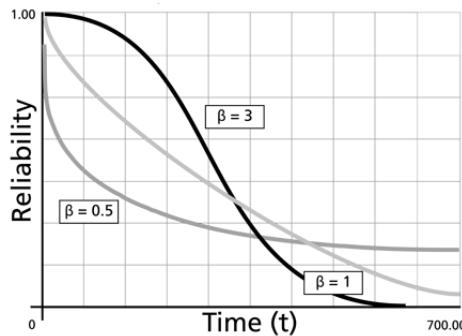


Figura 2.6 – Efeito do parâmetro de forma, β , na função fiabilidade de Weibull, $R(t)$ [7].

Outro dos efeitos que o parâmetro forma β origina é a alteração de inclinação no gráfico da taxa de falha de Weibull, $\lambda(t)$, sendo possível observar as diferentes fases de vida da “curva da banheira” (figura 2.7), consoante o valor que β apresente. Desta forma, verifica-se que para:

- $\beta < 1$, a função taxa de falha, $\lambda(t)$, apresenta inclinação negativa, conseqüentemente taxa de falhas decrescente, o que representa o comportamento característico de fase de Mortalidade Infantil – primeira zona da “curva da banheira”;
- $\beta = 1$, a função taxa de falha, $\lambda(t)$, apresenta inclinação nula, conseqüentemente taxa de falhas constante, o que representa o comportamento característico de fase de Vida Útil – segunda zona da “curva da banheira”;
- $\beta > 1$, a função taxa de falha, $\lambda(t)$, apresenta inclinação positiva, conseqüentemente taxa de falhas crescente, o que representa o comportamento característico de fase de Desgaste – terceira zona da “curva da banheira”;

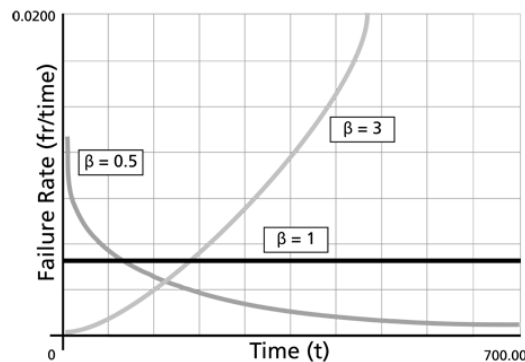


Figura 2.7 – Efeito do parâmetro de forma, β , na taxa de falha de Weibull, $\lambda(t)$ [7].

Efeitos do parâmetro de Escala, η

O parâmetro η corresponde à vida característica de um componente e descreve o tempo decorrido desde o fim do período de vida sem falhas γ até ao momento da falha. No caso de um componente não apresentar defeitos ou não registar falha prematuras, as falhas predominantes deste tendem a concentrar-se nas proximidades do parâmetro de escala.

Os efeitos deste parâmetro na função densidade de probabilidade de Weibull podem ser observados na figura 2.8. Tendo em conta que a área abaixo da curva $f(t)$ é constante, verifica-se que:

- O aumento de η , com β constante, provoca o “estiramento” da curva $f(t)$ para a direita e a diminuição da sua altura;
- A diminuição de η , com β constante, provoca a “contração” da curva $f(t)$ para a esquerda e aumento da sua altura.

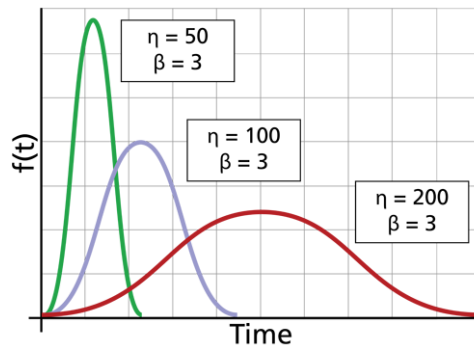


Figura 2.8 – Efeito do parâmetro de escala, η , na função densidade de probabilidade de Weibull, $f(t)$ [7].

Efeitos do parâmetro de Localização ou Vida Sem Avarias, γ

O parâmetro de localização, γ , corresponde ao limite inferior do domínio t considerado, e a alteração de valor do parâmetro promove uma deslocação da distribuição e da função $f(t)$ ao longo da abcissa (figura 2.9). Assim constata-se que para:

- $\gamma > 0$, a função desloca-se para a direita e revela que não se verificam falhas nos componentes até se atingir o instante γ ;
- $\gamma = 0$, a distribuição começa na origem ($t = 0$) e corresponde à função densidade de probabilidade de Weibull de 2 parâmetros. O parâmetro nulo significa que existe a hipótese de ocorrência de falhas logo a partir do início do intervalo de tempo considerado;
- $\gamma < 0$, a função desloca-se para a esquerda e revela que existe a hipótese de ocorrência de falhas antes da entrada do componente em funcionamento, como por exemplo durante a fase de produção, armazenamento, transporte ou teste;

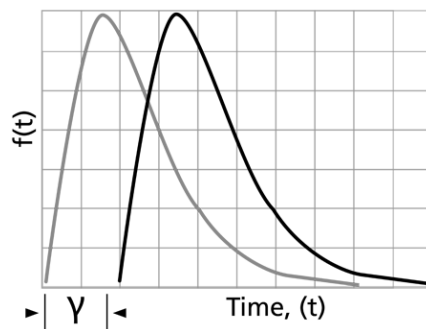


Figura 2.9 – Efeito do parâmetro de localização, γ , na função densidade de probabilidade de Weibull, $f(t)$ [7].

2.2 Conceitos de Fiabilidade, Manutibilidade, Disponibilidade e Segurança

A conjugação de Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade e Segurança, que pode ser denominada de *RAMS* (acrónimo de *Reliability, Availability, Maintainability e Safety*), consiste na aplicação de um conjunto de conceitos, métodos, ferramentas e técnicas de engenharia estabelecidas ao longo do ciclo de vida de um sistema. No caso concreto da manutenção, estes conceitos podem servir como indicadores da eficiência das ações de manutenção e sistemas intervenientes. Estes conceitos e de acordo com a Norma NP EN 50126:2000 [9], em que é citado que “os objetivos de segurança e de disponibilidade de um sistema em funcionamento só podem ser alcançados se estiverem satisfeitos todos os requisitos de fiabilidade e de manutibilidade e se as atividades de manutenção e de exploração forem controladas ao longo do ciclo de vida do sistema, assim como o meio ambiente em que se insere”, podem ser assim considerados de complementares.

Com o conceito Fiabilidade já abordado e caracterizado, no qual se descreve como a probabilidade de um dado item cumprir as funções requeridas, durante um determinado intervalo de tempo sem falhas e em ambiente especificado, é relevante definir os conceitos de Manutibilidade, Disponibilidade e Segurança.

2.2.1 Manutibilidade

A Manutibilidade entende-se como “a aptidão de um bem sob condições de utilização definidas ser mantido ou repostado num estado em que possa cumprir uma função requerida depois de lhe ser aplicada manutenção em condições determinadas, utilizando procedimentos e meios prescritos”, de acordo com a Norma NP EN 13306 [1]. De outra forma, pode ser definida como a probabilidade de se conseguir reparar um equipamento com sucesso (capacidade do equipamento ser mantido) [13], ou como a fiabilidade com que as reparações e as restantes tarefas de manutenção são efetuadas, influenciando diretamente a disponibilidade dos equipamentos para executarem as funções requeridas [11].

A Manutibilidade é fundamentalmente uma característica de conceção e fabricação do sistema que define a facilidade de realização de atividades de manutenção neste. E em termos quantitativos pode ser medida pela média dos tempos de manutenção de um sistema *MTTR* (*Mean Time To Repair*), cujo indicador é calculado pela seguinte expressão:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TTR_n}{n} \quad (2.28)$$

Em que n é o número de operações de manutenção realizadas num dado intervalo de tempo e TTR a duração de cada uma das operações. A Manutibilidade pode ainda ser medida através de outro indicador que corresponde ao inverso da duração média das operações de manutenção, e designa-se por taxa de reparação (μ) [12]:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (2.29)$$

O indicador MTTR pode no entanto ser particularizado, ou seja, para o caso de se pretender apenas caracterizar as ações de manutenção corretivas ou ações de manutenção preventivas, pode assumir-se como $MTTR_c$ ou $MTTR_p$, no entanto é também importante frisar que o indicador MTTR, representa apenas o tempo médio de reparação ou substituição, e não inclui tempos de obtenção de peças de substituição ou ferramentas especiais. No caso de se incluir estes tempos, pode-se então considerar um tempo médio de inatividade MDT (*Mean Down Time*). Analogamente, o MUT (*Mean Up Time*) representa o tempo médio de atividade de um sistema, correspondendo ao tempo que este se encontra em funcionamento e a realizar a função requerida [14].

2.2.2 Disponibilidade

A Disponibilidade é então definida como “a aptidão de um bem para estar em estado de cumprir uma função requerida em condições determinadas, num dado instante ou em determinado intervalo de tempo, assumindo que é assegurado o fornecimento dos necessários meios externos”, de acordo com a Norma NP EN 13306 [1]. Esta pode ser ainda interpretada como a probabilidade que um produto tem de estar operacional e pronto para desempenhar a sua função sempre que necessário [15].

A disponibilidade e a fiabilidade são características distintas. Se por um lado a fiabilidade representa a probabilidade do funcionamento sem falhas durante um determinado intervalo de tempo, não contando com o que se sucede após a falha, por outro a disponibilidade só caracteriza o estado de funcionamento num determinado instante [16].

Sendo uma característica única de sistemas reparáveis, a disponibilidade, pode ser considerada de intrínseca e extrínseca (operacional). A disponibilidade intrínseca D_i é aquela que um dado equipamento apresenta à saída da fábrica, ou seja, é a probabilidade de um equipamento se encontrar operacional em qualquer momento quando usado em condições especificadas e em ambiente ideal de operação. Isto significa que no cálculo deste tipo de disponibilidade, consideram-se apenas os tempos de reparações e substituições no indicador de manutibilidade (MTTR), que ao ser combinado com o indicador de fiabilidade (MTBF), originam a seguinte expressão de disponibilidade intrínseca [4]:

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (2.30)$$

Por outro lado, a disponibilidade operacional D_o é aquela que o equipamento tem, ao fim de um certo tempo de uso, ou seja, é a probabilidade de um equipamento se encontrar operacional em qualquer momento quando usado em condições especificadas e em ambiente real de operação. Pode ser ainda definida como a percentagem de tempo ativo (MUT) em relação ao tempo total (MUT+MDT). Assim disponibilidade operacional não só contabiliza a disponibilidade intrínseca, mas também toda a exploração do equipamento em causa, durante toda a sua vida, e é definida pela seguinte expressão [4]:

$$D_o = \frac{MUT}{MUT+MDT} \quad (2.31)$$

2.2.3 Segurança

A Segurança pode ser definida de forma geral como a ausência de consequências catastróficas para os utilizadores e para o ambiente. Mas particularizando para um contexto integrante da manutenção, esta pode ser definida como “ a probabilidade de um sistema desempenhar as suas funções corretamente ou descontinuar as suas funções, de uma forma que não perturbe o funcionamento de outros sistemas ou comprometa a segurança de todas as pessoas associadas direta ou indiretamente com o sistema” [10].

A segurança pode ser então entendida como uma medida da capacidade à prova de falhas de um equipamento, isto é, se este não funcionar corretamente, a sua falha não coloque em causa a integridade das pessoas ou bens.

A segurança também pode relacionar-se com a manutibilidade, na medida em que é essencial conhecer-se a facilidade com que se executam as manutenções nos componentes de um sistema e se essa manutenção pode desencadear uma situação potencialmente perigosa. É necessário conhecer-se também qual o tempo necessário para a reparação do sistema até se atingir de novo o estado de segurança [17].

2.3 Manutenção

A Manutenção traduz-se, segundo a Norma NP EN 13306 [1], como a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida”.

Contudo, pode-se encontrar diferentes definições entre vários autores, como por exemplo, Ferreira (1998) define a manutenção como o “conjunto de ações conduzidas com o fim de manter em condição aceitável as instalações e o equipamento fabril de forma a assegurar a regularidade da produção, a sua qualidade e a segurança com o mínimo de custos totais” [11]. Para Pinto (1999), a manutenção é o ato de “combinar ações de gestão, técnicas e económicas, aplicadas aos bens para otimização do seu ciclo de vida” [18]. Já Cabral (2006) define a manutenção como o “conjunto das ações destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas e das instalações, garantindo que estas são intervencionadas nas oportunidades e com o alcance certo por forma a evitar que avariem ou baixem de rendimento e, no caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade, tudo a um custo global otimizado” [19]. De uma forma generalizada, pode afirma-se que, a manutenção é a realização de ações de reparação ou prevenção, necessárias para compensar a deterioração e os desgastes dos ativos físicos em uso numa organização.

2.3.1 Objetivos da Manutenção

É possível dizer-se que a manutenção tem como principal objetivo garantir o correto funcionamento dos equipamentos, contribuindo assim para a maximização dos níveis produtivos dos mesmos. Contudo, a manutenção exibe outros importantes objetivos e de acordo com a opinião de Mishra (2006), estes podem ser definidos como [20]:

- Otimização da disponibilidade dos equipamentos produtivos;
- Minoração dos custos de manutenção;
- Organização dos recursos humanos de manutenção;
- Maximização da vida dos equipamentos e bens;
- Garantir a disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos e instalações;
- Assegurar o cumprimento das normas de segurança e meio ambiente;
- Maximizar a eficiência e produtividade.

2.3.2 Tipos de Manutenção

Os tipos de Manutenção podem ser distinguidos de forma diferente consoante a norma adotada ou autor seguido. Combinando os conteúdos de diversas fontes ([4], [18] e [19]), apresentam-se os seguintes tipos de manutenção (figura 2.10).

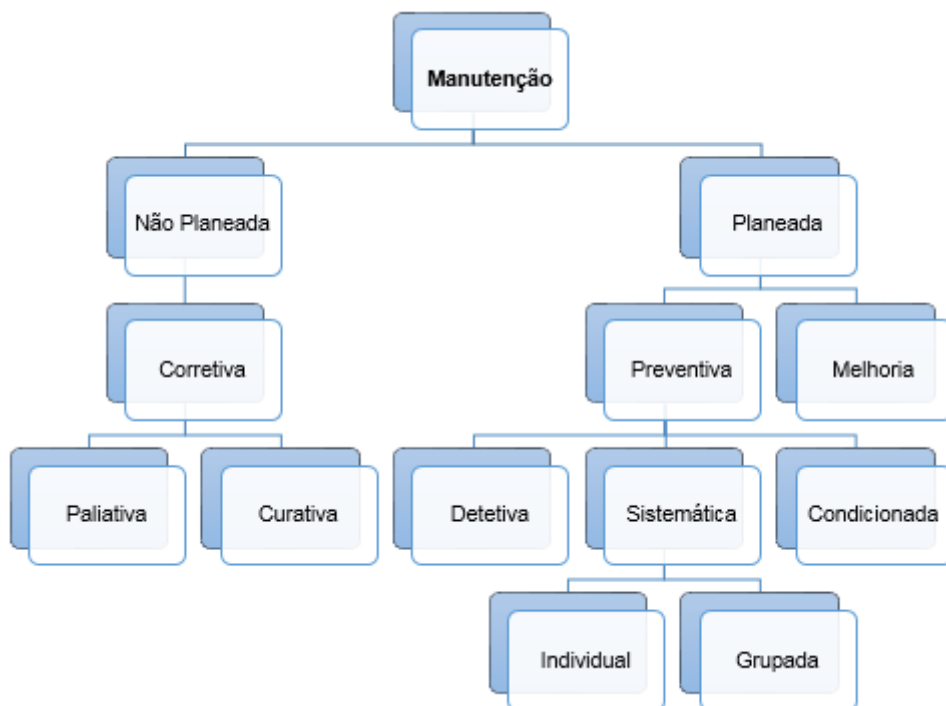


Figura 2.10 – Tipos de Manutenção.

A Manutenção pode, num primeiro nível, ser classificada como planeada e não planeada. Por **manutenção planeada** entende-se todas as ações executadas antes da ocorrência das falhas, ao passo que a **manutenção não planeada** é aquela que é executada após a deteção das falhas. Esta

última é então considerada como **manutenção corretiva** e tem como objetivo “repor o bem num estado em que possa realizar uma função requerida” [19]. Este tipo de manutenção pode ser, num segundo nível, dividida como **paliativa** e **curativa**. Ou seja, a manutenção corretiva pode ser considerada como um “paliativo” (restabelecimento da condição provisória de funcionamento) e como uma “cura” (restabelecimento da função de funcionamento) [4].

Quanto à manutenção planeada, esta é dividida em manutenção preventiva e manutenção de melhoria. A **manutenção de melhoria** define-se pela concretização de ações que envolvem o “estudo, projeto e realização de alterações nos equipamentos tendo como objetivo reduzir ou eliminar operações de manutenção” [18].

Por outro lado, a **manutenção preventiva** “é a manutenção efetuada a intervalos de tempo predeterminados ou de acordo com critérios prescritos com a finalidade de reduzir a probabilidade de avaria ou de degradação do funcionamento de um bem” [19]. A prevenção de avarias pode ser praticada através da utilização de um dos seguintes tipos de manutenção:

- A **manutenção condicionada** “é a manutenção preventiva baseada na vigilância do funcionamento do bem e/ou dos parâmetros significativos desse funcionamento, integrando as ações daí decorrentes” [19].
- A **manutenção detetiva** é a manutenção que “procura detetar falhas ocultas, isto é, componentes que já se encontram falhados, mas que não proporcionam sinais exteriores denunciadores de tal condição. As falhas ocultas só se revelam em resultado de testes de funcionamento no local ou em laboratório, depois dos componentes desmontados” [4].
- A **manutenção sistemática** “é a manutenção preventiva executada a intervalos de tempo preestabelecidos ou segundo um número definido de unidades de funcionamento, sem controlo prévio do estado do bem” [19]. A manutenção sistemática num terceiro nível pode ser **individual** (componente a componente) ou **grupada** (um conjunto de componentes em simultâneo). As ações individuais ocorrem “sempre que um componente crítico acumula o tempo de vida limite para a sua substituição (ou recuperação), obrigando à paragem do equipamento. Por outro lado, as ações grupadas referem-se à manutenção de “grupos de componentes com periodicidades de substituição preventiva sistemática próximas” com o objetivo de “obviar o inconveniente de parar frequentemente o equipamento” [4].

2.4 Gestão da Manutenção

Os objetivos da manutenção devem ser mensuráveis e consistentes com a política da manutenção [21]. Estes objetivos, por sua vez, têm de estar ligados aos objetivos globais da empresa devido ao facto da manutenção afetar a rentabilidade do processo produtivo. Assim, deve existir uma adequada **Gestão da Manutenção**, que pode ser definida como o “conjunto das ações destinadas a encontrar e a situar o nível da manutenção no ponto de equilíbrio entre o benefício e o custo que maximize o contributo positivo da manutenção para a rentabilidade geral da empresa” [19].

Já a Norma NP EN 13306 [1], define a gestão da manutenção como “todas as atividades de 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”. Em termos práticos, a gestão da manutenção traduz-se na correta tomada de decisões em tempo oportuno, as quais devem ser fundamentadas na otimização de um custo global, com a finalidade de se obter uma eficaz manutenção do equipamento.

Ao responsável pela gestão da manutenção compete, assim, a gerência de tudo o que a manutenção poderá envolver, desde meios humanos e materiais, passando por fluxos de informação, como ordens de trabalho, planeamento e organização de trabalhos, relatórios de avarias, indicadores de desempenho, orçamentos, etc. É possível dizer-se que uma gestão da manutenção eficiente revela-se uma tarefa bastante complexa, tendo o surgimento de sistemas de gestão da manutenção e a utilização de meios informáticos vindo auxiliar o trabalho das equipas de gestão.

2.4.1 Sistemas de Gestão da Manutenção

Um sistema de gestão da manutenção resume-se a uma abordagem estruturada e sistemática ao planeamento, organização e avaliação das atividades de gestão e custos associados. Um sistema de gestão da manutenção eficiente, aliado a uma equipa de gestão profissional, pode assegurar uma maior longevidade e melhor funcionalidade de um bem, prevenir problemas a nível de segurança, saúde e impacto ambiental e, ainda contribuir para uma diminuição dos custos de operação [22].

Segundo a NP EN ISO 14001 [23], um sistema de gestão é definido como “um conjunto de elementos inter-relacionados, utilizados para estabelecer uma política e objetivos e para atingir esses objetivos” e “inclui a estrutura organizacional, as atividades de planeamento, as responsabilidades, as práticas, os procedimentos, os processos e os recursos”.

O sistema de gestão da manutenção tem, desta forma, o propósito de implementar as práticas de manutenção, sendo que para tal, este deve dispor dos recursos técnicos que permitam atingir eficazmente os objetivos e ainda gerar informação útil, a fim de permitir medir parâmetros, desempenhos e o cumprimento das metas da manutenção.

Nos dias de hoje, a competitividade existente nos mercados e a procura constante de melhorar a rentabilidade das empresas, fazem com que estas recorram a modelos de sistemas de gestão de manutenção assentes numa filosofia de eliminação de desperdícios. Com este objetivo, muitas empresas procuram aplicar um modelo de gestão assente nas ideologias TPM (*Total Productive Maintenance*). Este tipo de modelo é vocacionado para a eliminação de desperdícios nas áreas da manutenção e tem como um dos principais objetivos a maximização da eficiência produtiva, revelando excelentes resultados quando aplicado corretamente [18].

2.4.1.1 TPM - *Total Productive Maintenance*

O TPM (*Total Productive Maintenance*) teve a sua origem nas conceções do Sistema de Produção Toyota, no início da década de 70, no Japão [18]. Assente no conceito da manutenção preventiva, desenvolvido na década de 50 nos Estados Unidos da América, Seiichi Nakajima propôs a combinação deste com o conceito japonês de TQM (*Total Quality Management*) e ainda o envolvimento de todos os colaboradores nos objetivos, desde a gestão de topo aos operadores mais indiferenciados, designando este conceito geral de TPM [24]. O TPM apresenta-se então como uma filosofia de gestão que envolve o planeamento, execução, organização, coordenação e controle de toda a função da manutenção [25]. Inicialmente implementado na empresa Nippon Denso do grupo Toyota, este conceito teve uma rápida expansão graças aos excelentes resultados que a sua prática revelou [18], que atualmente é uma marca registada do Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) [26].

Nakajima (1988) define o TPM como uma abordagem inovadora da manutenção que visa otimizar a eficácia dos equipamentos, eliminar as avarias e promover a manutenção autónoma pelos operadores. Este refere ainda que “quando as avarias e os defeitos forem eliminados, as taxas de utilização dos equipamentos melhoram, são reduzidos custos, os inventários podem ser minimizados e como consequência, a produtividade aumenta” [24]. Hoje em dia, o conceito já não se encontra limitado diretamente aos equipamentos, sendo abrangente aos departamentos administrativos e de apoio à produção, assim como outros departamentos. O TPM pode ser caracterizado como [19]:

- Busca da maximização da eficiência global dos equipamentos (*OEE – Overall Equipment Effectiveness*);
- Sistema total que engloba todo o ciclo de vida útil do equipamento;
- Sistema onde participam os quadros técnicos da produção e manutenção;
- Sistema que congrega a participação de todos, desde os da alta direção e até aos últimos operacionais;
- Movimento motivacional, na forma de trabalho de grupo, através da condução de atividades voluntárias.

As diferentes áreas que suportam a eficiência do TPM, cujos ideais assentam na procura da meta zero defeitos, zero paragens e zero acidentes são designadas de pilares. O número de pilares e a sua designação varia consoante o autor, pelo que se podem considerar os pilares representados na figura 2.11.

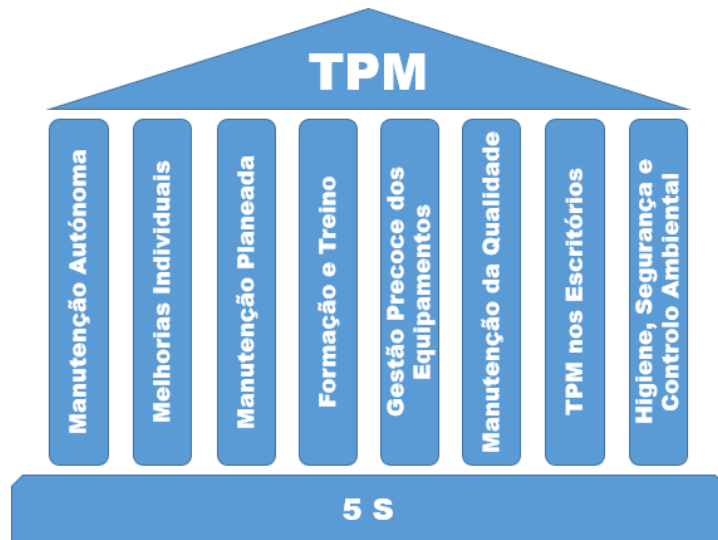


Figura 2.11 – Pilares do *Total Productive Maintenance* [24] [25] [26].

Como alicerce do TPM encontra-se o uso da metodologia **5S**, esta tem o objetivo de sistematizar as atividades de arrumação, limpeza e organizar os postos de trabalho, bem como padronizar processos de modo a aumentar um ambiente de trabalho propício ao incremento da produtividade [8]. Esta filosofia 5S é formada pelos seguintes cinco sentidos, cuja denominação japonesa se inicia pela letra “S”, ou seja [26]:

- **Seiri** - Senso de seleção, separação e arrumação;
- **Seiton** - Senso de ordenação, sistematização e organização;
- **Seiso** - Senso de limpeza e zelação;
- **Seiketsu** - Senso de asseio, padronização e normalização;
- **Shitsuke** - Senso de formação, auto-disciplina e compromisso.

Quando aos oito pilares de suporte do TPM, estes são definidos como [24]:

1. **Manutenção Autônoma** – Este pilar considerado como o mais importante, integra a realização de sete passos [19]:
 - Limpar o equipamento e inspecioná-lo, de forma a detetar anomalias e restaurar as mesmas. Esta etapa envolve também tarefas de lubrificação e eliminação de folgas;
 - Limitar as causas de sujidade no equipamento, melhorar a acessibilidade a áreas de difícil acesso e reduzir o tempo de limpeza e lubrificações;
 - Determinar procedimentos iniciais de manutenção autónoma e especificar o tempo atribuído à manutenção regular;
 - Formar os operadores para as tarefas de inspeção geral com recurso a listas de verificação e restaurar as anomalias detetadas;
 - Definir as tarefas de inspeção autónoma, atribuindo responsabilidades individuais aos operadores;
 - Padronizar/normalizar tudo o que for possível no processo, como registos, carrinhos de ferramentas, sequências de produção, armazéns, entre outros;

- Gerir e desenvolver a política corporativa, os objetivos da organização, conduzir atividades de melhoria regularmente, e ainda, recolher, registar e analisar dados para melhorar os planos de manutenção.
2. **Melhorias Individuais** – Concretizar ações de melhoria contínua, cuja evolução é intrínseca às sucessivas implementações nos equipamentos, através da análise da eficiência global dos mesmos. Este pilar permite identificar a origem das falhas e assim eliminar as perdas associadas;
 3. **Manutenção Planeada** – Executar ações de manutenção programadas de acordo com as taxas de falhas medidas ou previstas, permitindo ajustar os períodos de manutenção de acordo com o ciclo de produção e reduzir significativamente o tempo de inatividade e o inventário;
 4. **Educação e Formação** – Facultar aos colaboradores as ferramentas e conhecimentos adequados à implementação dos restantes pilares da TPM, e disponibilizar os meios necessários para o mesmo fim.
 5. **Gestão Precoce dos Equipamentos** – Pelo conhecimento prático e a compreensão do fabrico de equipamentos, adquiridos através da TPM, possibilita-se o melhoramento do projeto de novos equipamentos;
 6. **Manutenção da Qualidade** – Pretende detetar e prevenir defeitos nos processos, aplicando ferramentas de auxílio como a análise de causas e efeitos, com a finalidade de se eliminar essas falhas;
 7. **TPM nos Escritórios** – Aplicar práticas do TPM nas funções administrativas;
 8. **Higiene, Segurança e Controlo Ambiental** – Manter um ambiente de trabalho seguro e saudável.

Como anteriormente visto, o TPM apresenta o **OEE** (*Overall Equipment Effectiveness*) como indicador do rendimento global de um equipamento. Este pode ser definido como o produto de três subindicadores, sendo eles a **disponibilidade** operacional, o **desempenho** do equipamento e a **qualidade**. O subindicador de disponibilidade operacional mede a fração de tempo em que o equipamento se encontra disponível para produzir. Enquanto o subindicador de desempenho avalia a capacidade do equipamento em produzir à velocidade/cadência programada. Por último, o subindicador de qualidade exprime o nível de qualidade obtido no processo [26].

2.4.2 Gestão de Materiais de Manutenção

Numa boa gestão da manutenção não só é essencial a correta gestão das intervenções de manutenção a realizar, como também dos materiais envolvidos nas mesmas. Sejam manutenções planeadas ou não planeadas, na maioria dos casos torna-se necessária a substituição de diversos componentes, podendo os custos rondar metade dos valores totais das operações de manutenção [19].

No caso das intervenções planeadas, os componentes a substituir encontram-se previamente definidos e necessitam apenas de se encontrar disponíveis à data das operações, sendo estes adquiridos o mais tarde possível. Se apresentarem uma procura irregular mas previsível, as suas necessidades (referências, quantidades e datas) são estimáveis através de algoritmos do tipo MRP

(*Material Requirements Planning*). Este modelo de reposição de *stock* é denominado por *just-in-time*. Já no caso das intervenções não planeadas, para os componentes que se caracterizem por modos de falhas casuais e que sejam considerados de críticos para a produção, é necessário proceder à sua substituição o mais rapidamente possível, devendo encontrar-se em *stock* diversas unidades, por forma a minimizar a disponibilidade do equipamento ao qual pertencem. As necessidades destes componentes podem ser deliberadas com recurso a modelos de reposição para *stock*, sendo este tipo de modelo conhecido por *just-in-case* [4].

Os modelos de reposição de *stock* podem ser usados quer na gestão de materiais de consumo regular, quer na gestão de componentes que apresentem modos de falha de natureza casual. Entre todos os modelos de reposição de *stock*, o modelo de revisão periódica ou Modelo P e o modelo de revisão contínua ou Modelo Q, são os mais empregados.

2.4.2.1 Modelo de Revisão Periódica - Modelo P

Este modelo tem como base a encomenda de quantidade Q variável (consoante consumo anterior), de modo a repor o Nível Objetivo (ou nível máximo), NO , com a periodicidade P .

Como geralmente se verifica, a procura de um determinado componente varia aleatoriamente em torno de um valor médio, enquanto o prazo de aprovisionamento é sensivelmente constante. Deste modo, o nível máximo de *stock* que alguma vez poderá ser atingido designa-se por Nível Objetivo, NO , sendo calculado pela seguinte expressão [4]:

$$NO = \bar{D} \cdot (L + P) + SS \quad (2.32)$$

em que \bar{D} é a procura média de unidade por dia, L o prazo de aprovisionamento em dias, P o período de revisão em dias e SS o *stock* de segurança para cobrir a aleatoriedade da procura no período $P + L$.

O *stock* de segurança é utilizado como proteção contra uma procura superior à procura média entre o período de revisão e o prazo de entrega. Para dimensionar este *stock* de segurança, SS , é necessário definir qual a probabilidade de rutura e nível de serviço α que se pretende prestar. Posteriormente recorre-se à distribuição normal reduzida e o *stock* de segurança, SS , é obtido, para o caso do modelo de revisão periódica, pela seguinte expressão [4]:

$$SS = Z_{\alpha} \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{L + P} \quad (2.33)$$

sendo Z_{α} a variável Normal reduzida correspondente ao nível de serviço α aceite, σ_D o desvio padrão da procura por unidade de tempo (unidade/dia), L o prazo de aprovisionamento em dias e P o período de revisão em dias.

O modelo de revisão periódica é adequado quando se verifica uma, ou mais, das seguintes condições [4]:

- Variação pequena da procura;
- Variação pequena do prazo de aprovisionamento;
- Preço de custo reduzido;

- Interesse em encomendar em grupo a um mesmo fornecedor.

2.4.2.2 Modelo de Revisão Contínua - Modelo Q

Este modelo tem como base a encomenda de uma quantidade fixa, Q , quando o *stock* atinge um determinado nível de alerta, ou Ponto de Encomenda, PE , a qual apresenta um prazo de aprovisionamento, L .

Como no modelo anterior, verifica-se que geralmente a procura de um determinado componente varia aleatoriamente em torno de um valor médio, enquanto o prazo de aprovisionamento é sensivelmente constante. Ao momento em que se deve proceder a nova encomenda é então designado como Ponto de Encomenda, PE , o qual pode ser calculado pela seguinte expressão [4]:

$$PE = \bar{D} \cdot L + SS \quad (2.34)$$

em que \bar{D} é a procura média de unidade por dia, L o prazo de aprovisionamento em dias e SS o stock de segurança para cobrir a aleatoriedade da procura no período L . Em tudo semelhante ao do modelo anterior, este *stock* de segurança é utilizado como proteção contra uma maior procura do que a prevista. Para dimensionar este *stock* de segurança, SS , no caso do modelo de revisão contínua, é também necessário definir qual a probabilidade de rutura e nível de serviço, α , que se pretende prestar e recorrendo-se à distribuição normal reduzida. Este é obtido pela seguinte expressão [4]:

$$SS = Z_\alpha \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{L} \quad (2.35)$$

em que Z_α a variável Normal reduzida correspondente ao nível de serviço α aceite, σ_D o desvio padrão da procura por unidade de tempo (unidade/dia) e L o prazo de aprovisionamento em dias.

O modelo de revisão contínua é adequado quando se verifica uma, ou mais, das seguintes condições [4]:

- Grande oscilação da procura;
- Importância considerável;
- Preço de custo elevado;
- Disponibilidade permanente de *stock* no fornecedor.

3 Contexto Industrial

No presente capítulo é realizada uma breve apresentação da empresa “Sidul Açúcares”. Através de um acompanhamento presencial da operação na unidade fabril foi possível perceber o funcionamento da empresa, os seus ativos físicos, e ainda, em conformidade com o tema, as políticas de produção e manutenção da empresa.

3.1 Apresentação da Sidul Açúcares

A “Sidul Açúcares”, empresa na qual foi desenvolvido o caso de estudo da presente dissertação, teve início em Moçambique, no ano de 1890, aquando o empresário John Peter Hornung e um pequeno grupo de investidores resolveram explorar extensas propriedades de cana-de-açúcar que possuíam no país e fundaram a "Companhia do Assucar de Moçambique". Em Portugal, inicialmente localizada em Alcântara, a empresa iniciou a refinação de açúcar no ano de 1909.

Hoje em dia, após a fusão com a empresa Sores (fundada em 1967) e algumas mudanças em termos de proprietários, a Sidul Açúcares integra o grupo “ASR – American Suger Refining” e encontra-se localizada em Santa Iria de Azóia. A companhia americana supra mencionada também detém as refinarias americanas de Yonkers, Baltimore, Chalmette, Crockett, e Toronto e a refinaria inglesa de Thames [29].

Com um volume de negócio de cerca de 156 milhões de euros, a “Sidul Açúcares” é a maior refinaria de açúcar do país, sendo os mercados Português e Espanhol o destino de cerca 90% do açúcar produzido [28].

3.2 Infraestruturas e Equipamentos

As infraestruturas de produção da “Sidul Açúcares” podem ser decompostas em duas grandes áreas. A primeira refere-se à operação de refinação, ou seja, a denominada de secção de refinação, enquanto a segunda está associada às operações de embalagem e expedição e é designada por secção de embalagem, na qual se insere o desenvolvimento da presente dissertação.

3.2.1 Secção de embalagem

Esta secção, responsável pelo embalagem do açúcar em saquetas, pacotes, sacos ou contentores e sua expedição, é composta por nove linhas de enchimento/expedição, sendo que duas destas são exclusivas para abastecimento direto de camiões cisterna e contentores de 1100kg, normalmente destinados ao consumo industrial.

Por sua vez, as restantes linhas estão então associadas ao enchimento de embalagens, destinadas ao mercado doméstico ou pequenas indústrias, as quais são constituídas por equipamentos de maior complexidade. Cada linha é normalmente composta por uma, ou mais, máquinas de

enchimento, uma paletizadora, uma envolvedora e vários transportadores. Está também incluído em algumas linhas, localizando-se fisicamente entre a máquina de enchimento e a paletizadora, um outro equipamento que permite confeccionar conjuntos de produtos de menor dimensão designado de aglomerador.

Cada linha de produção é usualmente distinguida pelo equipamento de enchimento que a compõe, estando a sua denominação relacionada com esse equipamento. No entanto por motivos de confidencialidade, as linhas associadas ao presente caso de estudo, onde se processa o embalamento de pacotes de um quilograma de açúcar, encontram-se denominadas como:

- Linha A - Packs
- Linha A - Box
- Linha B
- Linha C
- Linha D

Estas são as designações adotadas na empresa e as que serviram de referência à presente dissertação. Uma outra particularidade relevante é a semelhança nas denominações atribuídas às linhas “A – Packs” e “A – Box”, este facto deve-se a estas partilharem o mesmo equipamento de enchimento, sendo o restante conjunto de equipamento diferente. Desta forma a operação nestas linhas efetua-se de modo intercalado.

As linhas de produção visadas na presente dissertação encontram-se então constituídas pelos seguintes equipamentos:

- **Linhas A – Packs e B**
 - Máquinas de Enchimento “A” e “B” de características semelhantes;
 - Aglomeradora (Packs de 10 unidades de 1Kg);
 - Paletizadora;
 - Envolvedora.
- **Linha A – Box**
 - Máquina de Enchimento “A”;
 - Paletizadora (“box” de 384 pacotes);
 - Envolvedora.
- **Linhas C**
 - Máquina de enchimento C HF 100 – “C”;
 - Paletizadora (“box” de 384 pacotes);
 - Envolvedora.
- **Linhas D**
 - Máquina de enchimento “D”;
 - Aglomerador (Packs de 10 unidades de 1Kg);
 - Paletizadora;
 - Envolvedora.

3.3 Manutenção na secção de embalagem

Numa fase em que a empresa se encontra em processo de implementação das ideologias TPM (Total Productive Maintenance), a manutenção na secção de embalagem baseia-se na realização de intervenções do tipo corretiva, planeada e autónoma. No que diz respeito às intervenções autónomas por parte dos operadores, estas atualmente centram-se em atividades de limpeza de início e preparação de turno. Durante o turno cabe também aos operadores zelarem pelo seu posto de trabalho mantendo-o limpo e organizado.

As intervenções de manutenção planeadas na secção baseiam-se em ações de maior rigor de limpeza semanal, ações de lubrificação e ainda algumas atividades de prevenção de falha. Estas envolvem a substituição de componentes, quando o desgaste nos mesmos se torna perceptível, bem como atividades de inspeção, que se realizam normalmente com uma periodicidade anual.

Contudo, mesmo existindo intervenções planeadas, são as ações corretivas que representam a maioria das atividades de manutenção, verificando-se a inexistência de um plano de manutenção baseado na fiabilidade dos componentes. Este tipo de manutenção, por vezes também se verifica pouco eficaz devido a alguma insistência na realização de ações paliativas, originando uma sucessão de falhas até que se concretize a eliminação das suas causas.

4 Caso de Estudo

Como anteriormente referido, na secção de embalagem encontra-se em fase de implementação um modelo de gestão baseado nas diretrizes ideológicas da TPM (Total Productive Maintenance). Um dos grandes objetivos da sua aplicação prende-se com a eliminação de todo o tipo de perdas de produção, as quais podem ser originadas por falhas ou avarias, afinações, quebras de velocidade e qualidade insuficiente do produto final.

Desta forma, um dos principais objetivos a que a Sidul se propõe com a aplicação deste tipo de modelo prende-se com a maximização da eficiência global dos equipamentos. Por forma a cumprir este objetivo, o departamento de manutenção procura uma contínua melhoria da eficiência global, sendo uma das suas responsabilidades a identificação e eliminação de falhas, defeitos e outras formas de perdas do sistema produtivo.

De modo a possibilitar o cumprimento dos referidos objetivos, é extremamente proveitosa a utilização de indicadores de desempenho, bem como de algumas ferramentas e técnicas que possibilitam a observação e análise de deficiências e desperdícios. Estas ferramentas surgem então como um importante auxílio à tomada de decisões dos responsáveis pela manutenção na empresa.

No que diz respeito à secção de embalagem, torna-se evidente que qualquer paragem dos equipamentos de produção tem como consequência direta a quebra de eficiência das linhas de produção. No entanto, mesmo que os equipamentos trabalhem sem paragens, estes podem apresentar quebras de eficiência relacionadas com a cadência nominal ou produto defeituoso. Desta forma, a eficiência global é obtida pela conjugação de três indicadores, sendo estes o rendimento, a disponibilidade e a qualidade. Deste modo, para a maximização da eficiência global das linhas, revela-se essencial o constante acompanhamento do processo produtivo e a permanente avaliação dos dados de produção. Só desta forma será possível a localização e identificação das causas das perdas de eficiência existentes, avaliação das medidas de melhoria implementadas, e ainda a identificação de novas oportunidades de melhoria nos processo.

A presente dissertação pretende, assim, identificar e caraterizar os sistemas/componentes críticos de cada linha de enchimento, em que é prioritária a implementação de medidas ou procedimentos de melhoria. Este estudo pretende também sugerir um conjunto de soluções para os sistemas ou componentes identificados.

Com o intuito de delimitar o âmbito do trabalho, foram analisadas apenas as linhas de enchimento das embalagens de um quilograma de açúcar granulado branco. Para estas linhas de enchimento, foram sugeridas metodologias de análise que permitem a identificação e caraterização dos sistemas ou componentes críticos. Com base nas metodologias sugeridas foram propostas algumas soluções de melhoria para os componentes identificados, que passam pela realização de eventos de manutenção, gestão dos seus materiais, delineação de procedimentos e normalização de tarefas a realizar pelos operadores e técnicos de manutenção.

Neste capítulo aborda-se o desenvolvimento do caso de estudo, com o objetivo de definir procedimentos e ações que promovam a eliminação ou diminuição de perdas nas linhas analisadas. Como consequência destas ações, prevê-se um aumento de eficiência e produtividade das linhas de enchimento, mantendo uma elevada qualidade de produto final.

No sub-capítulo 4.1 pretende-se analisar as eficiências das linhas de enchimento observadas, avaliando o método de cálculo e o histórico de dados disponibilizados pela empresa. No segundo sub-capítulo serão analisados os desperdícios de eficiência identificados no sub-capítulo anterior. Posteriormente, no sub-capítulo 4.3 será abordada a metodologia a seguir para classificação, avaliação e identificação dos equipamentos que originam as perdas mais significativas em cada linha de enchimento. Já no sub-capítulo 4.4, pretende-se identificar os sistemas ou componentes críticos dos equipamentos selecionados no sub-capítulo anterior. No sub-capítulo 4.5 procurou-se compreender as possíveis causas de perdas nos sistemas e componentes críticos. Por último no sub-capítulo 4.6 procede-se ao estudo e elaboração de soluções. As soluções apresentadas passam pela normalização das tarefas realizadas pelos operadores e pela sugestão de realização de eventos de manutenção, tendo como base, a análise da fiabilidade dos sistemas/componentes críticos.

4.1 Decomposição da Eficiência das Linhas

Inicialmente procurou-se analisar a eficiência das linhas de enchimento através do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), obtido pela conjunção de subindicadores. Estes individualmente permitem analisar diferentes formas de perdas de eficiência dos equipamentos, tais como perdas de operacionalidade, rendimento ou qualidade do produto fabricado. Para uma melhor perceção da realidade produtiva das linhas e observação da forma como o OEE é avaliado pela empresa, realizou-se a análise do método de cálculo existente, bem como a origem da informação que lhe serve de referência.

Na secção de embalamento, o cálculo do OEE é realizado individualmente em cada uma das linhas de enchimento, apresentando-se com diferentes bases temporais, como por exemplo OEE por turnos, diários, mensais e anuais. Antes de se apresentar o cálculo de OEE, é importante perceber-se o horário de trabalho da secção. Esta secção inicia a sua atividade às 00 horas de segunda-feira e termina às 24 de sábado, com cada dia de trabalho dividido em três turnos de 8 horas. No entanto, as linhas só iniciam a produção no terceiro turno do primeiro dia da semana, sendo os dois primeiros turnos destinados a ações de manutenção planeada.

Para o cálculo do OEE é indispensável a informação registada por parte dos operadores nos relatórios de produção. Estes relatórios facultam a mais variada informação, tal como a hora de ocorrência de paragem, o tempo de paragem, o equipamento afetado, a quantidade de produto produzido sem e com defeito, indicando o motivo da rejeição.

O modelo de OEE utilizado pela Sidul é em tudo semelhante ao que a teoria propõe, sendo o resultado do produto dos subindicadores de disponibilidade, rendimento e qualidade da linha produtiva [26].

$$OEE = Disponibilidade \times Rendimento \times Qualidade \quad (4.1)$$

Contudo, a empresa tem definido para o método de cálculo de cada um dos subindicadores, um formato que entende mais adequado (figura 4.1), onde os subindicadores são calculados pelas seguintes fórmulas.

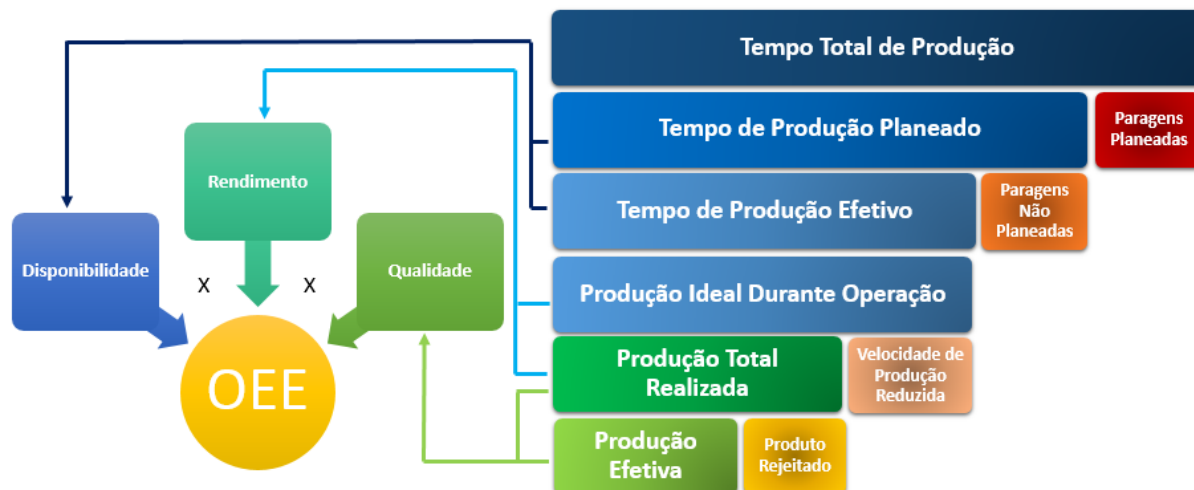


Figura 4.1 – Método de cálculo do OEE pela Sidul.

Disponibilidade

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ de\ Produção\ Efetivo}{Tempo\ de\ Produção\ Planeado} \times 100\% \quad (4.2)$$

Rendimento

$$Rendimento = \frac{Produção\ Total\ Realizada}{Produção\ Ideal\ Durante\ Operação} \times 100\% \quad (4.3)$$

Qualidade

$$Qualidade = \frac{Produção\ Efetiva}{Produção\ Total\ Realizada} \times 100\% \quad (4.4)$$

Os tempos e perdas que servem como base nos cálculos, representam:

- Tempo Total de Produção – Indica o tempo disponível para a linha produzir, tendo em conta o horário de trabalho;
- Paragens Planeadas – Engloba todos os tempos planeados de não produção (paragens de manutenção programadas, tempos de não produção devido a falta de encomendas e paragens programadas dos operadores);
- Paragens não planeadas – Representa o tempo que a linha não se encontra a produzir devido a falhas, avarias ou outro tipo de paragens que não estão planeadas mas são intrínsecas ao processo;
- Produção Ideal Durante Operação – Representa a produção máxima que a linha consegue obter ao laborar à velocidade nominal durante o tempo efetivo de operação;
- Produção Total Realizada – Traduz a quantidade total de produto que foi produzido na linha durante o tempo efetivo de operação;

- Produção Efetiva – É a quantidade de produto final que se encontra dentro dos parâmetros de qualidade da empresa.

Apesar desta forma de cálculo do OEE poder ser utilizada, entende-se que para uma melhor avaliação da eficiência global das linhas é necessária a inclusão de informação relativa à interferência das paragens planeadas na produção, ou seja, no cálculo do subindicador de disponibilidade seria benéfico considerar-se também a influência dos tempos de paragem planeados, como sugere P.Muchuri [30]. De facto, mesmo indispensáveis, as paragens planeadas devem ser consideradas como um desperdício de capacidade produtiva, observando-se por vezes mais significativas que as paragens não planeadas. Desta forma é possível evidenciar o seu efeito e potencialmente eleger algumas paragens planeadas para alvo de ações de melhoria, a fim de maximizar o tempo efetivo de operação. Como exemplos de melhorias, poderiam ser otimizados os tempos despendidos nas ações de manutenção planeada ou ainda a redefinição de estratégias de produção. Assim sugere-se o cálculo do OEE seja realizado de acordo com o método ilustrado na figura 4.2.

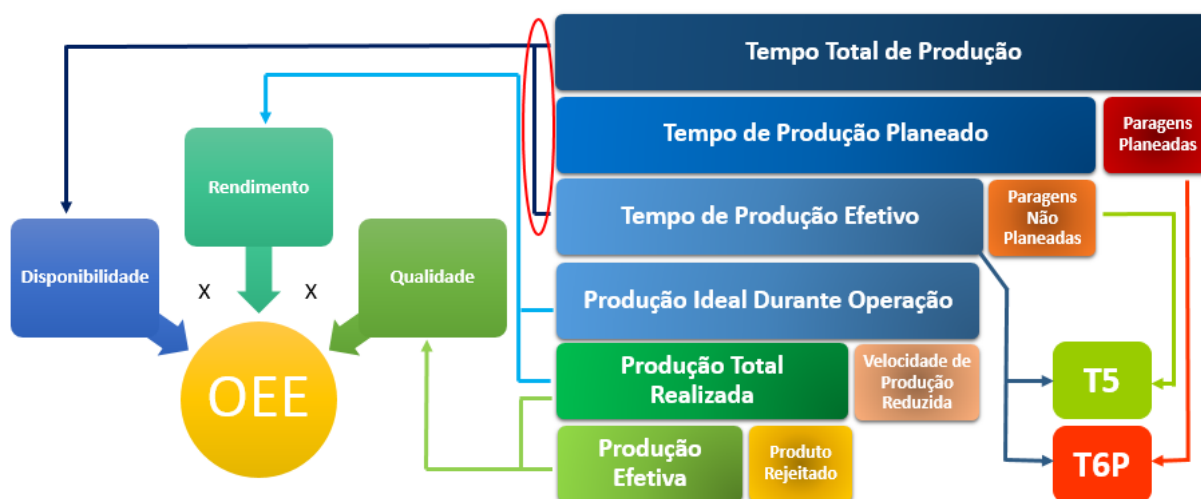


Figura 4.2 – Método de cálculo do OEE sugerido.

Sendo então o cálculo do fator de disponibilidade calculada da seguinte forma:

Disponibilidade

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ de\ Produção\ Efetivo}{Tempo\ Total\ de\ Produção} \times 100\% \quad (4.5)$$

Em relação ao indicador OEE e aos subindicadores de rendimento e qualidade, os métodos de cálculo utilizado pela empresa entendem-se como adequados, sendo os mais comuns encontrados na literatura. Para uma melhor caracterização da disponibilidade das linhas de produção, considerou-se ainda, o cálculo de dois outros subindicadores que relacionam o tempo de paragem planeado e não planeado com o tempo efetivo de produção. Estes subindicadores, designados por T5 e T6 na norma europeia EN: 15341 [31], pertencem ao grupo técnico de indicadores de desempenho do nível 2 e permitem indicar a percentagem de perdas de tempo de produção devido a manutenção não planeada e planeada. Os indicadores propostos pela norma podem ser obtidos pelas seguintes fórmulas [31]:

$$T5 = \frac{\text{Tempo de Produção Efetivo}}{(\text{Tempo de Produção Efetivo} + \text{Paragens Devido a Falhas})} \quad (4.6)$$

$$T6 = \frac{\text{Tempo de Produção Efetivo}}{(\text{Tempo de Produção Efetivo} + \text{Paragens Devido a Manutenção Planeada})} \quad (4.7)$$

Contudo, face aos dados disponibilizados apenas foi possível o cálculo do subindicador T5. Em relação ao subindicador T6, uma vez que os dados disponibilizados não permitem a determinação do tempo de manutenção preventiva, procedeu-se ao seu cálculo utilizando o tempo total de paragens planeadas. Este novo subindicador proposto foi designado por “T6P”, de forma a diferenciá-lo do subindicador T6 encontrado na norma. Assim, o “T6P” engloba a interferência da manutenção planeada, da carência de encomendas e das paragens programadas dos operadores.

$$T6P = \frac{\text{Tempo de Produção Efetivo}}{(\text{Tempo de Produção Efetivo} + \text{Paragens Planeadas})} \quad (4.8)$$

4.1.1 Eficiência Global das Linhas

O histórico de registos consultado, onde constam os OEE já calculados pela empresa e outras informações necessárias à materialização dos objetivos deste estudo, referem-se a 12 meses de dados recolhidos, desde o início de outubro de 2013 e o final de setembro de 2014. Recorrendo-se aos dados disponibilizados foram calculados os subindicadores e o OEE mensal, através das duas metodologias anteriormente apresentadas. Posteriormente calculou-se a média mensal do OEE, dos subindicadores e correspondente desvio padrão em cada uma das linhas. Na tabela 4.1 estão representados os resultados obtidos para a linha C, sendo possível consultar na tabela A.1 do anexo A os resultados referentes às restantes linhas.

Tabela 4.1 – Média mensal de OEE, subindicadores e respetivos desvios padrão para linha C.

<i>Linha C</i>	OEE	OEE (Sidul)	Disponibilidade	Disponibilidade (Sidul)	Rendimento	Qualidade
<i>OEE Médio</i>	28,37%	55,28%	39,17%	63,25%	72,82%	99,45%
<i>Desvio Padrão</i>	8,99%	5,50%	12,94%	14,16%	4,80%	0,32%

Como esperado, a média mensal da eficiência global da linha C, para o período de tempo analisado, apresenta uma diferença de cerca de 27% entres os resultados obtidos por cada um dos métodos de cálculo. Verifica-se também, que esta disparidade entre os valores obtidos pelos métodos de cálculo é partilhada nas restantes linhas. A diferença apresentada deve-se essencialmente ao tempo teórico de produção considerado para o cálculo da disponibilidade das linhas, que no método proposto agrega o tempo de paragens planeadas. Como anteriormente defendido, esta parcela do tempo de paragens pode ser alvo de ações de melhoria, visando a otimização de uma das componentes temporais que a compõem, tais como:

- Tempos de manutenção planeados;
- Tempos não produtivos devido à carência de encomendas;
- Tempos de paragens programadas dos operadores (refeições).

No entanto, devido à não existência de um registo concreto e discriminado de todos os tempos de paragem planeados, é importante evidenciar como foi obtido o tempo teórico disponível de produção, ou seja, o “Tempo Total de Produção” considerado para o cálculo do subindicador de disponibilidade. Com vista à sua determinação foi calculado o número de dias de trabalho em cada mês, considerando o horário de funcionamento da empresa indicado no capítulo 4.1 cesurando os dias que coincidiam com feriados, visto ser política da empresa não trabalhar nesses dias. É necessário salientar que no “Tempo Total de Produção” foi considerado o tempo das paragens programadas dos operadores devido ao facto de por vezes existir operação neste período, subentendendo-se assim, que é possível usufruir integralmente do mesmo para fins produtivos. Uma possível solução seria recorrer-se ao desfasamento do tempo de paragem programada de cada operador, a fim de se evitar a paragem da produção. Desta forma, o “Tempo Total de Produção” obtido para cada mês é calculado por:

$$\text{“Tempo Total de Produção”} = 24 \text{ Horas} * (\text{N}^\circ \text{ Dias do Mês} - \text{N}^\circ \text{ Domingos e Feriados}) \quad (4.9)$$

Quanto aos resultados alcançados nos indicadores, é possível observar-se que foi apenas usufruída cerca de 28% da capacidade teórica da linha C. Nas restantes linhas observam-se semelhantes carências produtivas, sendo que no caso da linha D existiu apenas um aproveitamento de 18% da sua capacidade. Quanto às restantes linhas são observados aproveitamentos na ordem dos 44% para a linha A – Packs, 42% para a linha A – Box e por fim 31% na linha B. Consta-se também que as perdas de eficiência se devem fundamentalmente às paragens planeadas e não planeadas.

É ainda possível verificar que as linhas produzem a uma cadência inferior à nominal, induzindo no caso da linha C, perdas de produção de 27%. Nas restantes linhas as perdas devido a cadência de produção inferior à nominal rondam os 15,9% para a linha A - Packs, 14% para a linha A – Box, 18% na linha B e 12% na linha D.

Outra das observações incide sobre a variação mensal da disponibilidade, do rendimento e consequentemente da eficiência global das linhas, asseverando o observado durante o período de acompanhamento desta atividade na empresa, ou seja, a inexistência de períodos de produção regulares em qualquer uma das linhas.

Pelo facto das perdas de disponibilidade apresentarem uma importância significativa na eficiência das linhas, e com o intuito de se compreender qual o tipo de paragem que mais influencia as perdas de disponibilidade, foram calculados os indicadores T5 e T6P para cada uma das linhas. Através do cálculo destes subindicadores é possível quantificar as perdas de produção devido a paragens não planeadas (T5 da norma europeia EN: 15341 [31]) e a paragens planeadas (T6P baseado no T6 da mesma norma). Para a linha C observam-se os seguintes resultados para estes subindicadores:

$$T5 = 76\%$$

$$T6P = 45\%$$

Deste modo, é perceptível que as paragens planeadas têm um peso muito superior ao peso das não planeadas relativamente ao tempo de produção efetiva. No caso da linha C, as perdas de tempo produtivo devido às paragens planeadas atingem os 55% (correspondente a $1 - T6P$), enquanto as relativas às paragens não planeadas representam 24% (correspondente a $1 - T5$). Esta situação

registra-se em todas as linhas analisadas, sendo possível consultar os valores dos indicadores na tabela A.2 do anexo A.

Não existindo dados que permitam distinguir os tempos de manutenção planeados dos tempos de não produção devido à falta de encomendas, centralizou-se o estudo nas paragens não planeadas. No entanto, deve-se salientar que através da observação da atividade da empresa e admitindo que se registou um comportamento idêntico durante o período referente aos dados analisados, o tempo de inoperacionalidade devido a eventos de manutenção planeada é superior ao tempo de paragem devido à carência de encomendas. Esta situação é comum em todas as linhas à exceção da linha D em que a produção se destina a um nicho de mercado.

Como o rendimento atual das linhas é também um importante fator de degradação da eficiência das linhas, este também será abordado. Por outro lado, a qualidade do produto final é bastante elevada, registando-se valores do subindicador muito próximo dos 100% em todas as linhas (tabela 4.1 e tabela A.1). Face à reduzida responsabilidade na deterioração da eficiência global, devido à diminuta produção de pacotes de açúcar sem a conformidade especificada, as perdas de eficiência resultantes da qualidade do produto não foram alvo de estudo no presente trabalho.

4.2 Análise das Perdas de Eficiência

Como apurado no capítulo anterior, as grandes perdas ou desperdícios de eficiência, resultam da quebra de rendimento e disponibilidade dos equipamentos. No presente capítulo pretende-se analisar quais os equipamentos que originam as perdas destes subindicadores de eficiência.

4.2.1 Perdas de Rendimento

No caso do rendimento das linhas de enchimento e após observação da atividade da secção, percebeu-se que as perdas associadas podem derivar de três formas diferentes. Uma das formas de perda está diretamente associada ao número de paragens ocorridas, ou seja, tratando-se de equipamentos com velocidades de operação consideráveis, em cada operação de arranque existe um período inicial de transição de velocidades. Outra situação que se associa a esta forma de perda é o facto de existirem pequenas paragens que não são registadas, que antecedem geralmente um registo de paragem não planeada, sobretudo quando estão envolvidos os equipamentos de enchimento. É possível concluir que esta componente de perda de rendimento é tanto maior, quanto maior for a frequência de paragens.

Uma forma de perda de rendimento está relacionada com a velocidade de produção programada que cada operador entende como adequada. Segundo estes, a velocidade máxima que utilizam é a que origina menor frequência de paragens, sendo que para a mesma linha existem operadores que configuram velocidades distintas. Esta componente de perda é verificada para todas as linhas estudadas à exceção da linha D que labora à velocidade ideal proposta pelos responsáveis.

Por último, observou-se que a cada fim de turno os operadores terminavam a operação da linha cerca de 20 a 25 minutos antes da hora prevista. Isto é, este período de tempo é tido como tempo de produção, quando na realidade esta não existe. Desta forma foi sugerido ao responsável da secção efetuar-se a troca de turnos sem a interrupção do funcionamento das linhas, permitindo assim a eliminação desta componente de perda de produção. Esta situação foi entretanto corrigida no decorrer da presente dissertação.

4.2.2 Perdas de Disponibilidade

No caso da disponibilidade, devido à falta de dados referentes às ações de manutenção planeada, as perdas referentes às paragens planeadas não foram consideradas. No entanto é de salientar que estas apresentam um contributo bastante significativo na degradação da disponibilidade das linhas de produção.

Tendo em conta a complexidade dos equipamentos e a enorme variedade de tipos de eventos de paragem não planeados, no presente sub-capítulo, pretende-se identificar os equipamentos que mais influenciam a eficiência global das linhas e naturalmente indicados como prioritários à realização de ações de melhorias.

De forma a mostrar como a atividade da secção é condicionada pelas constantes interrupções, analisaram-se os tempos e frequências de paragem registadas em cada semana onde existiu produção efetiva. Na figura 4.3 encontra-se ilustrado o resultado da análise efetuada à linha C, sendo possível observarem-se os resultados das restantes linhas no anexo B.

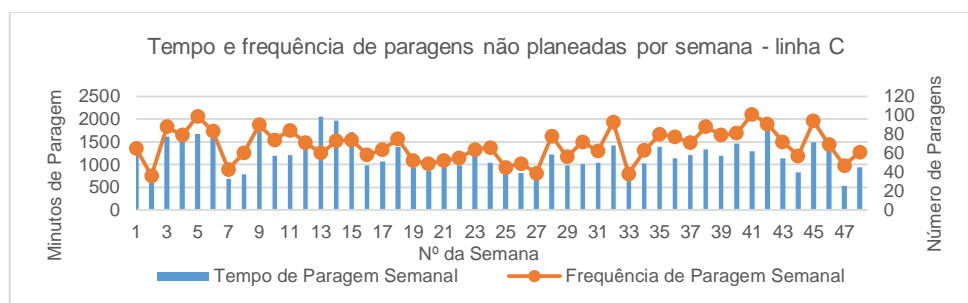


Figura 4.3 – Total de minutos e frequência de paragens não planeadas por semana.

Desta análise é possível observa-se que a linha C apresenta em média um tempo de paragem de 1196,5 min/sem com um desvio padrão de 344,7 min/sem e ainda uma frequência média de paragens de 68,3 eventos/sem com um desvio padrão de 16,4 eventos/sem. Torna-se notório que a produção realiza-se de forma intermitente e não contínua, afetando diretamente a eficiência global de cada linha e ainda o correto funcionamento dos equipamentos, preparados para altas cadências produtivas. Assim uma redução dos tempos de paragem não planeados e da frequência de eventos de paragem, permitirá uma melhoria conjunta do rendimento e disponibilidade da linha de enchimento. Na tabela 4.2 podem observar-se as médias semanais e desvios padrão dos tempos e frequências de paragem para as restantes linhas.

Tabela 4.2 – Média semanal e desvio padrão dos tempos e frequências de paragens por linha.

	A Pack		A Box		B		C		D	
	Tempo [min/sem]	Frequência [event/sem]	Tempo [min/sem]	Frequência [event/sem]	Tempo [min/sem]	Frequência [event/sem]	Tempo [min/sem]	Frequência [event/sem]	Tempo [min/sem]	Frequência [event/sem]
Média	964,5	75,8	900,2	62,1	1549,7	115,8	1196,5	68,3	883,7	49,2
Desvio Padrão	545,5	47,4	529,8	36,3	451,1	29,2	344,7	16,4	468,9	27,9

4.3 Análise dos Eventos de Paragem por Equipamento da Linha

Devido ao número elevado de eventos de paragem não planeados em cada linha, tornou-se necessário classificar estes eventos quanto ao equipamento associado. Com esta classificação, posteriormente, procedeu-se à avaliação dos eventos de cada equipamento da linha quanto à sua prioridade de análise em relação aos restantes. Ou seja, após se atribuir um determinado conjunto de eventos a uma classe/equipamento responsável pelas paragens, procedeu-se à comparação de cada uma dessas classes com as restantes, de modo a evidenciar-se os conjuntos de eventos que mais influenciaram as perdas de disponibilidade e rendimento da linha.

Deve mencionar-se ainda, que as paragens registadas em cada classe/equipamento foram agrupadas em diferentes tipos de eventos. Por sua vez, estes tipos de eventos referem-se à causa/falha que originou a paragem. Deste modo, para os tipos de eventos que envolvem a falha de um órgão ou componente da linha, foram utilizadas designações segundo o nome do órgão ou componente associado. Por outro lado, os tipos de eventos que envolvem tarefas ou “falhas exteriores” à linha foram distinguidos segundo o motivo que provocou a paragem.

Para a classificação dos eventos de paragem foram estabelecidas as seguintes classes:

- **Máquina de Enchimento** – Todos os tipos de eventos de paragem não planeados que ocorreram devido à máquina de enchimento;
- **Aglomeradora** – Todos os tipos de eventos de paragem não planeados registados devido aos equipamentos que aglomeram os pacotes de 1kg em embalagens de 10 unidades;
- **Paletizadora** – Todos os tipos de eventos de paragem não planeados registados nos equipamentos que organizam o produto (unidades individuais de 1kg ou embalagens de 10 unidades), em paletes;
- **Envolvedora** – Todos os tipos de eventos de paragem não planeados registados nos equipamentos que envolvem as paletes em filme plástico;
- **Geral** – Todos os tipos de eventos de paragem não planeados exteriores aos equipamentos das linhas.

No anexo C podem ser consultados os tipos de eventos de paragem associados a cada classe/equipamento.

Para identificar as classes de eventos de paragem críticas, procurou-se analisar cada classe de paragem quanto ao impacto que esta tem na linha em termos da duração média e frequência de paragem. Para cada linha, a análise realizada teve como base a comparação do tempo médio de paragem de cada classe com a mediana global dos tempos médios das classes, e ainda a comparação da frequência de paragem de cada classe com a mediana global da frequência de paragem de todas as classes. Nesta análise, assume-se que uma classe de paragem é mais significativa em termos de tempo médio de paragem quando o tempo médio desta é superior ao valor mediano de referência, analogamente, uma classe de paragem é menos significativa em termos de tempo médio de paragens quando apresenta um tempo médio inferior ao mesmo valor mediano de referência. Aplicando a mesma metodologia à frequência de paragem de cada classe, assumiu-se que uma classe de paragem é mais ou menos significativa em termos de frequência de paragem se a sua frequência de paragem for superior ou inferior à mediana das frequências de paragem das classes na linha.

Para uma análise comparativa do impacto das classes de paragem na linha de produção consideraram-se três níveis de impacto:

- Impacto Elevado: Em que a classe de paragem apresenta em ambas as dimensões de análise, valores mais elevados que os valores das medianas globais de referência.
- Impacto Médio: Em que a classe de paragem apresenta em apenas uma das dimensões de análise, valores mais elevados que os valores das medianas globais de referência.
- Impacto Reduzido: Em que a classe de paragem apresenta em ambas as dimensões de análise, valores inferiores aos valores das medianas globais de referência.

A avaliação das classes de paragem para cada linha, encontra-se representada num gráfico composto por quatro quadrantes. Na sua disposição, o eixo das abcissas representa a frequência de ocorrência de eventos de paragem e o eixo das ordenadas representa o tempo médio de paragem. Já a dimensão do ponto representativo de cada classe, traduz o desvio padrão do tempo médio de paragem nesta. A divisão dos quadrantes é feita por uma linha horizontal, que representa o valor mediano de referência para a análise dos tempos médios de paragem, e por uma linha vertical, que representa o valor mediano de referência para a análise de frequência de ocorrências.

Na figura 4.4 pode então observar-se a avaliação de cada uma das classes de paragem para a linha C, sendo possível verificar-se as avaliações das restantes linhas no anexo E.

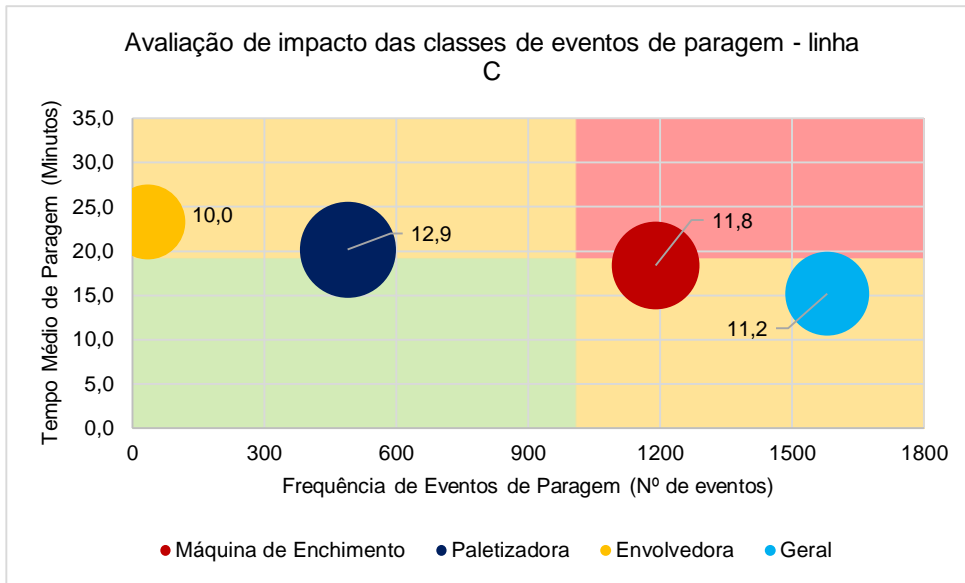


Figura 4.4 – Avaliação do impacto das classes de eventos de paragem pela conjugação das análises de frequência de eventos de paragem e tempo médio dos eventos para a linha C.

Através desta avaliação foi possível classificar as classes de eventos de paragem quanto ao seu impacto na linha de produção em relação às restantes. Na tabela 4.3 estão apresentados os resultados da avaliação realizada para as diferentes linhas.

Tabela 4.3 – Resultados da avaliação de impacto das classes de eventos de paragem por linha.

	A Pack	A Box	B	C	D
Máquina de Enchimento	Impacto Médio	Impacto Médio	Impacto Elevado	Impacto Elevado	Impacto Médio
Aglomeradora	Impacto Médio		Impacto Médio		Impacto Reduzido
Paletizadora	Impacto Médio	Impacto Médio	Impacto Reduzido	Impacto Médio	Impacto Reduzido
Envolvedora	Impacto Médio	Impacto Médio	Impacto Reduzido	Impacto Médio	Impacto Médio
Geral	Impacto Elevado	Impacto Elevado	Impacto Elevado	Impacto Médio	Impacto Médio

Desta forma, pelo nível de impacto atribuído a cada classe de eventos de paragem, evidenciaram-se as classes cuja análise dos seus eventos de paragem se entende como prioritária em cada linha. No entanto, com o intuito de delimitar o âmbito do trabalho e de acordo com os resultados obtidos na avaliação de impacto, procurou-se seleccionar as classes que não só se entendam como prioritárias, mas também que apresentem tipos de eventos de paragem semelhantes com as restantes linhas. Deste modo, as classes de eventos de paragem a analisar no próximo sub-capítulo foram as classes de paragem “Máquina de Enchimento” e “Geral”.

4.4 Análise dos Tipos de Eventos de Paragem

Como cada uma das classes seleccionada apresenta vários tipos de eventos de paragem associados, recorreu-se à metodologia anteriormente utilizada, para avaliar cada tipo de evento quanto ao seu impacto na eficiência da linha em relação aos demais.

Como anteriormente descrito no sub-capítulo 4.3 e de acordo com as informações recolhidas junto dos técnicos de manutenção e dos responsáveis da secção, cada tipo de evento refere-se à causa/falha que originou a paragem e é designado segundo o órgão, componente ou causa associada.

Para o caso da linha C, as classes “Máquina de Enchimento” e “Geral” são compostas pelos tipos de eventos apresentados na tabela 4.4, onde se encontram também representados os respetivos códigos de identificação, descrição do mecanismo ou o motivo a que está associada, e ainda, se o tipo de evento é ou não expetável. Esta última característica descreve se o tipo de evento é ou não previsível, isto é, no caso da linha de produção parar para colocar uma nova bobine de papel da embalagem, este evento de paragem é considerado expetável. Por outro lado, os tipos de paragens devido a falhas são considerados não expetáveis devido ao seu carácter aleatório e ao facto de que não deveriam existir em termos ideais.

Para as restantes linhas, encontram-se no anexo C as informações acima mencionadas acerca dos tipos de eventos de paragem por classe.

Tabela 4.4 – Descrição do tipo de eventos das classes “Máquina de Enchimento” e “Geral”, na linha C.

Máquina de Enchimento - Linha C			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Sistema alimentação do papel</i>	Mecanismo que asseguram a alimentação de papel de embalagem	Não	M1
<i>Lâminas circulares</i>	Sistema que realiza os cortes de construção de embalagem	Não	M2
<i>Cola fria - bomba</i>	Sistema de fornecimento de cola fria aos injetores	Não	M3
<i>Cola fria - injetores</i>	Mecanismo que distribui a cola fria no papel de embalagem	Não	M4
<i>Lâmina de 90º</i>	Sistema que realiza o corte transversal do papel da embalagem	Não	M5
<i>Formação do pacote - mandris</i>	Sistema de formação da embalagem	Não	M6
<i>Cadeado</i>	Sistema de transporte ao longo da operação de enchimento	Não	M7
<i>Doseador nº1</i>	Mecanismo de dosagem principal	Não	M8
<i>Doseador nº2</i>	Mecanismo de dosagem principal	Não	M9
<i>Balança 1</i>	Sistema de balanças de aferição e rejeição de peso	Não	M10
<i>Doseador nº3</i>	Mecanismo de dosagem para afinação de peso	Não	M11
<i>Torre formação topo</i>	Mecanismo de início das operações de selagem de embalagem	Não	M12
<i>Lâminas de topo</i>	Sistema de corte do excesso de papel da embalagem	Não	M13
<i>Dobra de colagem</i>	Sistema que efetua a dobra onde é aplicada a cola-quente de selagem	Não	M14
<i>Calcador cola</i>	Sistema que finaliza a operação de fecho de topo	Não	M15
<i>Cola quente</i>	Sistema que fornece a cola quente de selagem	Não	M16
<i>Balança final</i>	Sistema de balança de rejeição de peso	Não	M17
<i>Tapete de saída</i>	Sistema que transporta a embalagem para o sistema de transferência	Não	M18
<i>Sistema de transferência</i>	Sistema que transporta a embalagem entre o tapete de saída e o tapete de alimentação da Paletizadora	Não	M19
<i>Detetor metais</i>	Sistema que deteta a existência de materiais estranhos ao processo na embalagem	Não	M20
<i>Codificadora pacotes</i>	Sistema que codifica cada pacote produzido	Não	M21
<i>Mudança bobine papel</i>	Operação de mudança de bobine de papel para a embalagem	Sim	M22
Geral			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Limpezas / preparação arranque</i>	Operação de limpeza e preparação de turno que excede o tempo planeado de 15 minutos ou evento de paragem para limpeza.	Não	G1
<i>Mudança marca / tipo</i>	Tempo de paragem relacionado com a mudança da marca ou tipo de açúcar a empacotar	Sim	G2
<i>Ar comprimido</i>	Tempo de paragem devido à falta no fornecimento de ar comprimido	Não	G3
<i>Energia elétrica</i>	Tempo de paragem devido à falta no fornecimento de eletricidade	Não	G4
<i>Falta de açúcar</i>	Tempo de paragem devido à falta no fornecimento de açúcar por parte de refinaria	Não	G5

Relativamente à avaliação dos tipos de eventos de paragem das classes selecionadas, foram considerados níveis de impacto idênticos aos utilizados na avaliação das classes de paragem. Deste modo, para analisar o tempo médio de cada tipo de evento de paragem utilizou-se como referência a

mediana dos tempos médios de todos os tipos de eventos da linha de produção. Por outro lado, para analisar a frequência de ocorrência de cada do tipo de evento paragem foi utilizada como referência a mediana das frequências de ocorrência de todos os tipos de eventos de paragem.

Os resultados desta análise para a linha C, encontram-se representados na figura 4.5 e no anexo F é possível a consulta dos resultados das restantes linhas.

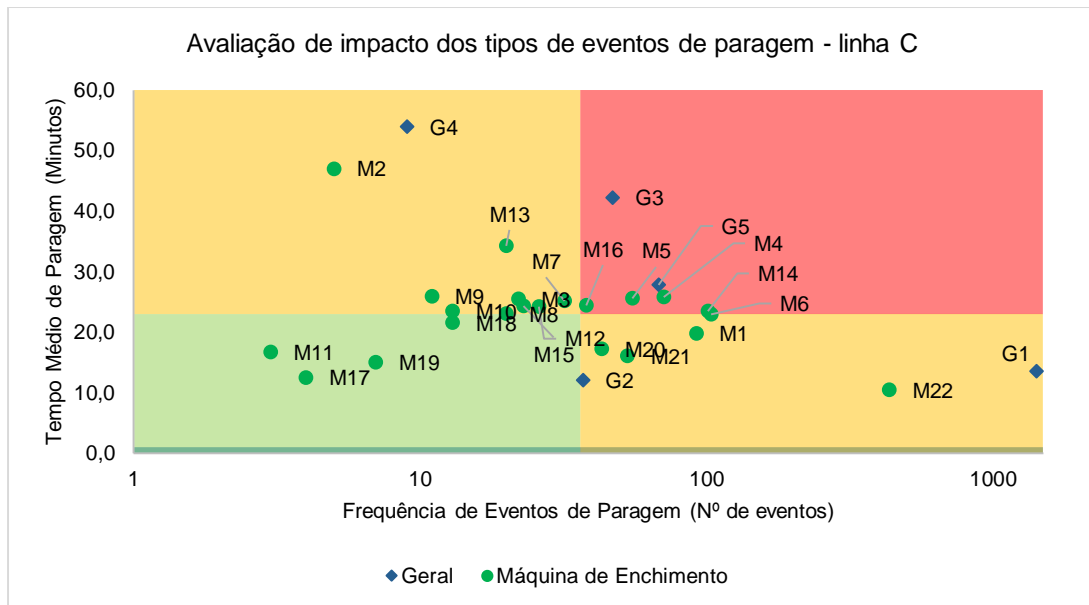


Figura 4.5 – Avaliação de Impacto dos tipos de eventos de paragem das classes “Máquina de Enchimento” e “Geral”, linha C.

Na representação gráfica dos resultados das análises não foram contemplados os desvios padrão dos tempos médios de modo a possibilitar uma melhor visualização, pelo que, estes desvios padrão podem ser consulta-los no anexo D.

Através desta avaliação foram identificados com impacto elevado em cada linha, os seguintes tipos de eventos de paragem apresentados na figura 4.6:

A – Packs	A – Box	B	C	D
<ul style="list-style-type: none"> • M5 – Lâmina de 90º • M18 – Cola Quente • G5 – Falta de Açúcar 	<ul style="list-style-type: none"> • M1 – Sistema de Alimentação do Papel • M4 – Cola Fria – Injetores • M8 – Formação do pacote – Mandris • G3 – Ar comprimido • G4 – Energia Elétrica 	<ul style="list-style-type: none"> • M5 – Lâmina de 90º • M6 – Balanças • M8 – Formação do pacote – Mandris • M18 – Cola Quente • G3 – Ar comprimido • G5 – Falta de Açúcar 	<ul style="list-style-type: none"> • M4 – Cola Fria - Injetores • M5 – Lâmina de 90º • M6 – Formação do Pacote - Mandris • M14 – Dobragem de Topo • M16 – Cola Quente • G3 – Ar comprimido • G5 – Falta de Açúcar 	<ul style="list-style-type: none"> • M3 – Doseadora • M4 – Soldadura de Ar Quente • M5 – Maxilas VP • M6 – Lâmina VP • M7 – Resistências / Teflon's • M9 – Soldadura BS • M17 – Divisor • G1 – Limpezas/Preparação de Arranque • G3 – Ar comprimido • G5 – Falta de Açúcar

Figura 4.6 – Tipos de paragem de “Impacto Elevado” por linha.

Verificando-se um elevado número de tipos de eventos de paragem com impacto relativo nas linhas, foi necessário seleccionar destes, um pequeno conjunto a ser alvo de uma análise mais

aprofundada, com vista à definição de ações para a sua eliminação ou mitigação. Os critérios que nortearam a seleção deste conjunto foram:

- A importância de cada tipo de evento para diferentes linhas;
- A previsibilidade de cada tipo de evento;
- A capacidade dos operadores atuarem sobre os eventos/causas das paragens;
- As ações de melhoria em curso;
- A similaridade entre tipos de eventos de linhas diferentes;
- A gama de custos associado a cada tipo de evento.

Com base nos critérios acima enumerados foram selecionados para cada linha os tipos de evento apresentados na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Tipos de eventos selecionados, respetivos tempos médios, tempos totais, frequência e percentagens relativas aos tempos totais registados num período de 12 meses em cada linha.

<i>Linha</i>	Tipo de evento de paragem	Tempo de paragem total (Min)	Frequência de eventos (Nº de eventos)	Tempo médio de paragem (Min)	% do tempo total de paragem da linha	% da frequência de eventos da linha
<i>A - Packs</i>	M4 – Cola Fria – Injetores	120	14	8,6	0,3%	0,5%
	M5 – Lâmina de 90º	950	45	21,1	2,5%	1,5%
	G1 – Limpezas/Preparação de Arranque	7600	530	14,3	20,2%	17,9%
<i>A - Box</i>	M4 – Cola Fria – Injetores	430	22	19,5	1%	1%
	M5 – Lâmina de 90º	1565	97	16,1	4%	4%
	G1 – Limpezas/Preparação de Arranque	8535	675	12,6	22%	25%
<i>B</i>	M4 – Cola Fria – Injetores	125	4	31,3	0,2%	0,1%
	M5 – Lâmina de 90º	1440	84	17,1	2,1%	1,6%
	G1 – Limpezas/Preparação de Arranque	16235	1005	16,2	23,8%	19,5%
<i>C</i>	M4 – Cola Fria – Injetores	1835	71	25,8	3,2%	2,2%
	M5 – Lâmina de 90º	1405	55	25,5	2,5%	1,7%
	G1 – Limpezas/Preparação de Arranque	19180	1419	13,5	33,9%	43,1%
<i>D</i>	M12 – Etiquetadora Topo	2320	215	10,8	5,4%	8,8%
	G1 – Limpezas/Preparação de Arranque	1905	40	47,6	4,4%	1,6%

4.5 Estudo das Causas de Paragens

Após a definição dos tipos de eventos de paragem para análise, procurou-se perceber quais foram as causas que provocam estes eventos. Com este propósito, foi realizada uma recolha de informação sobre as possíveis causas de cada tipo de evento, através de uma abordagem direta e individual a alguns dos colaboradores da secção. Deste modo, realizaram-se entrevistas semiestruturadas a oito dos operadores das linhas, a três técnicos de manutenção e por último ao responsável da secção, nas quais foram colocadas algumas questões relativas a cada um dos tipos de eventos, como por exemplo:

- Porque é que este tipo de eventos paragem acontece?
- Quais os componentes envolvidos?
- Quais entende serem as principais causas das falhas?
- Já se verificaram outras causas? Quais?

- Como são resolvidas estas falhas? Quais as tarefas, matérias e ferramentas necessárias?
- Como acha que estas paragens poderiam ser minimizadas?

Uma outra fonte de informação foi a observação realizada durante o período de acompanhamento da atividade da secção em questão.

Posteriormente, de forma a facilitar a análise da informação e o estudo das causas de cada tipo de eventos, recorreu-se à utilização de uma ferramenta gráfica geralmente utilizada em controlo da qualidade. Esta ferramenta é designada de diagrama de Ishikawa ou diagrama de causas e efeitos e permite sintetizar a informação recolhida. O diagrama de Ishikawa consiste em estruturar hierarquicamente as potenciais causas do tipo de evento, distribuindo-as por categorias. Estas categorias são geralmente apelidadas de 6 M's, e encontram-se identificadas como [32]:

- **Materiais:** Causas relacionadas com os materiais que estão envolvidos no processo;
- **Métodos:** Causas relativas aos métodos de execução do trabalho;
- **Mão-de-obra:** Causas que resultam das ações ou atitudes por parte dos operadores;
- **Medidas:** Causas que envolvam indicadores ou acompanhamentos;
- **Máquina:** Causas que envolvam a máquina/equipamento ou ferramentas envolvidas no processo;
- **Meio ambiente:** Causas que resultem do meio ambiente envolvido, desde limpeza, temperatura, humidade, etc.

4.5.1 Cola Fria – Injetores

Este tipo de evento de paragem refere-se à existência de falhas na distribuição da cola no papel de embalagem, que é efetuada por um segmento de cola fria composto por 4 injetores. Segundo as informações recolhidas junto dos operadores, algumas das possíveis causas de paragem podem ser devidas a:

- Lapso dos operadores em não colocar o segmento de cola submerso em água, durante paragens da produção prolongadas;
- Parâmetros de operação desajustados;
- Modo de limpeza executado no segmento de cola ineficiente.

Sintetizando-se a informação recolhida através das entrevistas aos colaboradores e das observações realizadas, foi elaborado o seguinte diagrama de causas (figura 4.7).



Figura 4.7 – Diagrama de Ishikawa para o tipo de evento “Cola Fria – Injetores”.

4.5.2 Lâmina de 90°

As paragens do tipo “Lâmina de 90°” ocorrem normalmente quando existem problemas na operação de corte transversal do papel de embalagem, executada pela conjugação de duas lâminas, sendo elas uma fixa e uma móvel. Pela informação recolhida junto dos operadores, algumas das possíveis causas deste tipo de eventos devem-se a:

- Desgaste excessivo nas lâminas devido ao material de embalagem ou ao material constituinte das lâminas;
- Degradação das lâminas devido a erro humano;
- Tempo de reparação excessivo devido à dificuldade de acesso às lâminas;
- Eventos de manutenção mal executados.

Na figura 4.8 pode ser observado o diagrama de causa gerado com base nas informações obtidas através das observações e das entrevistas aos colaboradores.

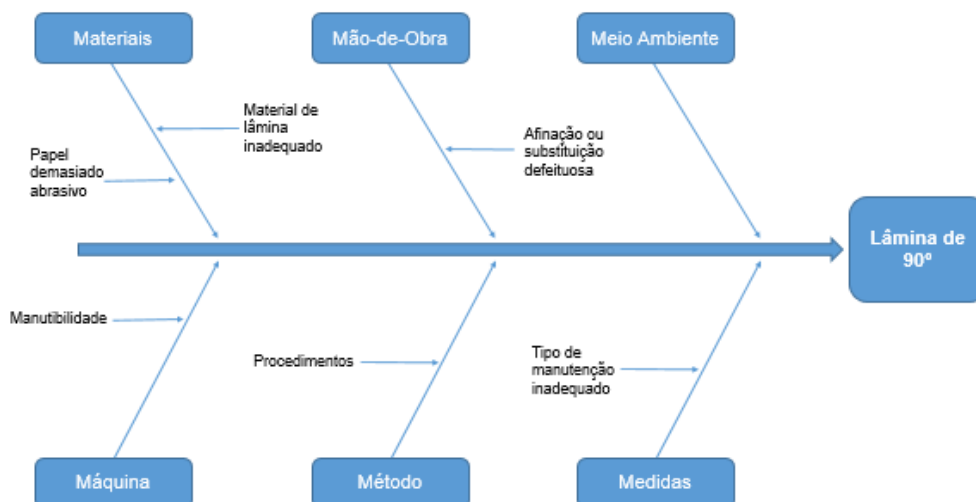


Figura 4.8 – Diagrama de Ishikawa para o tipo de evento “Lâmina de 90°”.

4.5.3 Etiketadora de Topo

No caso da linha D, o tipo de evento “Etiketadora de Topo” ocorre quando existem falhas na aplicação da etiqueta de fecho no topo do pacote. Pela informação recolhida junto dos colaboradores, este tipo de eventos pode ocorrer devido a:

- Incidência em evento de manutenção de caráter paliativo;
- Dificuldade na obtenção de peças de substituição, mesmo que da própria marca;
- Desgaste excessivo nos componentes do equipamento.

Segundo as informações obtidas das entrevistas aos colaboradores e das observações realizadas foi elaborado o diagrama de causas representado na figura 4.9.

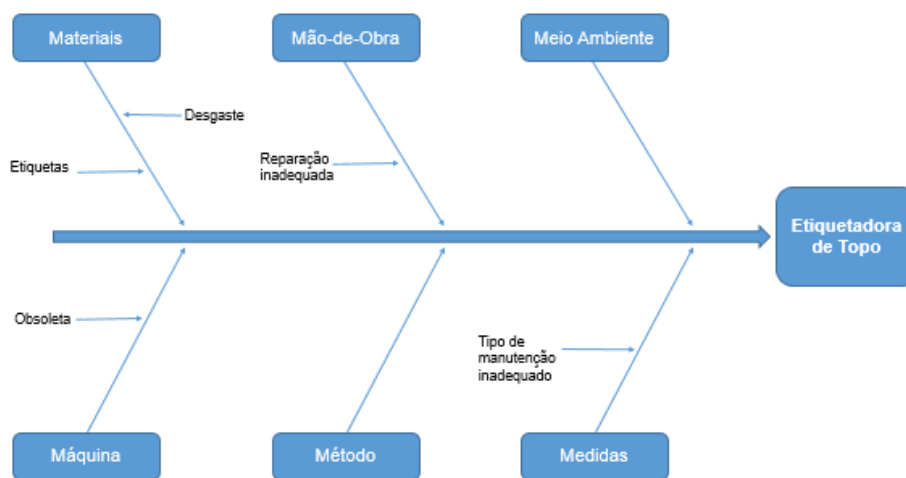


Figura 4.9 – Diagrama de Ishikawa do tipo de evento “Etiketadora de topo”.

4.5.4 Limpezas e Preparação de Arranque

Ao início de cada turno está contemplado, pelos responsáveis, um período de 15 minutos para manutenção da linha. Contudo, esta interrupção pode ser insuficiente e o tipo de evento “Limpezas/Preparação de Arranque” contabiliza o excesso de tempo despendido, bem como os tempos de paragem para limpeza durante o turno. De acordo com a informação recolhida junto dos colaboradores, algumas das possíveis causas deste tipo de eventos podem ser:

- Realização ineficiente das tarefas de limpeza por parte de alguns operadores;
- Não realização de algumas tarefas essenciais;
- Sensibilidade das linhas ao grau de “sujidade” (cola ou açúcar).

Após a sintetização das informações recolhidas das entrevistas aos colaboradores e das observações realizadas, elaborou-se o diagrama de causas da figura 4.10.



Figura 4.10 – Diagrama de Ishikawa para o tipo de evento “Limpezas/Preparação de Arranque”.

Com as possíveis causas dos tipos de eventos expostas, pretende-se no sub-capítulo seguinte estudar as medidas que possibilitem uma melhoria destes tipos de paragem.

No entanto, antes de se passar ao estudo destas medidas é importante salientar alguns aspetos relevantes das entrevistas realizadas. Durante este processo foi interessante perceber que existem algumas divergências nas informações recolhidas. Por exemplo, alguns dos operadores das linhas alegam que deveria existir um maior número de eventos de manutenção preventiva, já no caso dos técnicos de manutenção existe uma opinião de que algumas das paragens são consequência das ações dos operadores. No processo de recolha da informação foi também possível observar que os colaboradores apresentam ideais diferentes sobre algumas tarefas e durante o período de trabalho estes executam as suas funções consoante o seu critério.

4.6 Estudo de Medidas de Melhoria

Após a análise das possíveis causas dos tipos de eventos escolhidos, realiza-se neste sub-capítulo o estudo de medidas que visam a eliminação ou mitigação destes tipos de eventos. No caso dos eventos de paragem do tipo “Cola Fria – Injetores”, “Lâmina de 90º” e “Etiquetadora de topo”, para auxílio na tomada de decisão quanto às soluções a indicar, foi necessária a realização da análise da fiabilidade dos componentes envolvidos. Com o intuito de realizar esta análise de fiabilidade, recorreu-se à distribuição de probabilidade de Weibull como modelo estatístico de análise, devido à sua versatilidade e capacidade de adaptação. No caso do tipo de evento “Limpezas/Preparação de Arranque” e atendendo a uma ideologia de eliminação de desperdícios, procurou-se normalizar o procedimento a seguir para realizar essas operações.

4.6.1 Metodologia de Análise e Cálculo da Fiabilidade

A distribuição de Weibull destaca-se de entre as funções teóricas de probabilidade, pela sua capacidade de ajuste a uma grande variedade de formas de distribuições de probabilidade reais, através da manipulação dos seus parâmetros [3].

Para as diferentes análises efetuadas, estes parâmetros foram obtidos e estimados de forma empírica. Desta forma, recorreu-se ao histórico de dados fornecidos pela empresa referentes a 12 meses, compreendidos entre o início de outubro de 2013 e o final setembro de 2014. Não sendo possível diferenciar que tipo de intervenção ou qual o componente que falhou em cada paragem, as análises de fiabilidade realizadas incidem sobre o sistema envolvido. Estes sistemas são então constituídos por todos os componentes que estão associados a cada tipo de evento de paragem.

Através do histórico de paragens foram obtidas as datas de ocorrência dos tipos de paragem em questão, não sendo no entanto possível a identificação do tipo de manutenção executado, ou seja, se o evento foi apenas de afinação ou se existiu alguma substituição de um componente. Desta forma, assume-se que cada tipo de evento analisado está associado a um sistema em série.

Portanto, a fiabilidade destes sistemas pode ser definida como a probabilidade de nenhum dos componentes do sistema falhar durante um determinado intervalo de tempo, medido desde a última paragem.

Nas análises optou-se por utilizar o tempo de operação em dias. A escolha desta unidade para o tempo de operação deve-se ao facto de se ter observado que ocorriam eventos de paragem do mesmo tipo sucessivamente. Ou seja, geralmente, quando ocorriam eventos de paragem do mesmo tipo durante um turno ou no turno seguinte, estes eram ainda consequência da falha inicial. Desta forma, os eventos reincidentes durante um dia de trabalho foram censurados.

No caso das linhas A – Packs e A – Box, que dependem do mesmo equipamento de enchimento, as análises de fiabilidade foram realizadas com base na conjugação dos dados referentes aos eventos da classe “Máquina de Enchimento” das duas linhas.

4.6.1.1 Preparação de Dados

Os parâmetros da distribuição de Weibull foram obtidos com base nos intervalos de tempo entre falhas (*Time Between Failures* - TBF), que no caso se refere ao tempo entre eventos de paragem do mesmo tipo em cada linha.

Com o intuito de obter os dados do histórico de paragens de cada linha, foi necessário manipular e organizar os registos de cada tipo de paragem a analisar pelo seguinte procedimento:

1. Organização dos eventos de paragem de cada tipo por ordem crescente.
2. Cálculo do número de dias entre paragens, sendo censurados os registos de paragens reincidentes no mesmo dia. A contagem de dias entre paragens teve início na ocorrência da primeira paragem de cada registo e findou na última, encontrando-se estas compreendidas no histórico de paragens entre outubro de 2013 e setembro de 2014.
3. Organização de todos os valores de TBF de cada tipo de evento de paragem por ordem crescente em cada linha.

Com o intuito de se determinar os parâmetros de Weibull, o passo seguinte foi calcular os valores da curva teórica de frequência acumulada de falha, $F(t)$. Estes valores foram então obtidos recorrendo-se ao método de aproximação de Bernard [8]:

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{N+0,4} \quad (4.10)$$

em que o i corresponde ao número de um determinado registo de tempo entre falhas e N ao número total de registos de tempo entre falhas.

4.6.1.2 Distribuição de Weibull

Não existindo informação sobre qual o tipo de manutenção executada em cada paragem, no estudo realizado foi considerada a hipótese de que as avarias eram completamente resolvidas e o estado do equipamento restituído como “novo”. Deste modo, admitindo que existe a probabilidade de surgir uma nova avaria a partir do momento que uma falha é eliminada, utilizou-se o limite inferior de vida igual a zero. Devido ao exposto, a distribuição de Weibull utilizada é em função de dois parâmetros (η e β), sendo o parâmetro γ de valor zero.

A distribuição de Weibull de dois parâmetros é então composta pelas funções densidade de probabilidade (2.23), fiabilidade (2.24), probabilidade acumulada de falha (2.25), taxa instantânea de avaria (2.26) e MTBF (Mean *Time Between Failures*) (2.27), com (t) a corresponder ao número de dias entre falhas.

O método de determinação dos parâmetros de Weibull, passa pela regressão linear da função de fiabilidade de Weibull, ou seja, a esta aplica-se uma transformação logarítmica de forma a obter-se uma função linear comum do tipo $y = Ax + B$.

Após o cálculo da frequência acumulada de falha, $F(t)$, foi obtida a fiabilidade, $R(t)$, através da relação:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4.12)$$

A equação da reta $y = Ax + B$ é então obtida pela manipulação da equação da fiabilidade (2.19):

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

$$(\Rightarrow) \ln(R(t)) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

$$(\Rightarrow) \ln(-\ln(R(t))) = \ln\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

$$(\Rightarrow) \ln\left(\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right) = \beta \times \ln(t) - \beta \times \ln(\eta)$$

onde: $y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)$ $A = \beta$ $x = \ln(t)$ $B = -\beta \times \ln(\eta)$

Com as retas de regressão linear a serem provenientes da representação gráfica dos pontos referentes ao tempo entre paragens, estas encontram-se tanto mais coerentes com os dados empíricos quanto maior for o seu coeficiente de correlação R^2 , cujo valor varia entre 0 e 1.

Com a manipulação dos valores de A e B destas equações obtêm-se os parâmetros da distribuição de Weibull:

$$\beta = A \quad (4.13)$$

$$\eta = e^{(-\frac{B}{\beta})} \quad (4.14)$$

Após a obtenção dos parâmetros de Weibull foi possível caracterizar os sistemas em estudo quanto às suas funções densidade de probabilidade (2.23), fiabilidade (2.24), probabilidade acumulada de falha (2.25), taxa instantânea de avaria (2.26) e MTBF (Mean *Time Between Failures*) (2.27).

4.6.2 Análise de Fiabilidade

O presente sub-capítulo destina-se à apresentação e discussão dos resultados obtidos nas diferentes análises de fiabilidade.

4.6.2.1 Estimativa de Parâmetros da Distribuição de Weibull

Seguindo-se a metodologia anterior, foram determinados os parâmetros da distribuição de Weibull. Na figura 4.11 estão representados todos os pontos correspondentes ao número de dias entre falhas do tipo de evento de paragem “Lâmina de 90°” da linha C e respetiva equação da reta de regressão linear. Quanto aos restantes sistemas, é possível a observação das suas regressões lineares no anexo G.

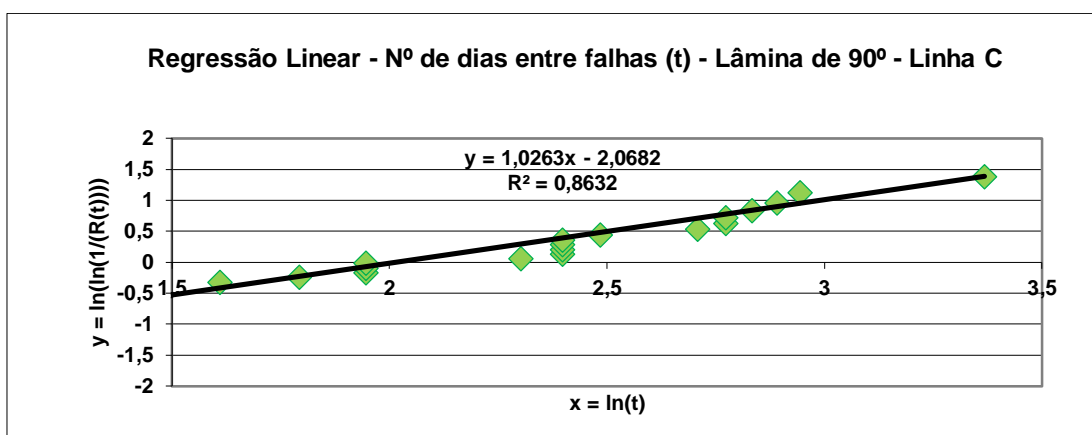


Figura 4.11 – Regressão linear: Número de dias entre falhas – Lâmina de 90° linha C.

Através da equação da reta de regressão linear obteve-se então os valores de A e B, que ao serem usados nas equações (4.13) e (4.14) possibilitam o cálculo dos parâmetros de Weibull (η e β).

Os parâmetros η e β estimados podem ser observados na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Valores A e B da equação de Regressão linear e parâmetros de Weibull η e β por sistema em cada linha.

Linha	Lâmina de 90°				Cola Fria - Injetores				Etiquetadora de Topo			
	A	B	β	η	A	B	β	η	A	B	β	η
A	1,0245	-1,4986	1,0245	4,3179	0,8502	-2,1811	0,8502	13,0058	-----	-----	-----	-----
B	0,9568	-1,9632	0,9568	7,7822	1,1552	-2,4642	1,1552	8,4413	-----	-----	-----	-----
C	1,0263	-2,0682	1,0263	7,5022	1,1205	-2,0102	1,1205	6,0136	-----	-----	-----	-----
D	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1,802	-1,139	1,802	1,8815

A correlação da reta de regressão linear aos dados empíricos, dada pelo coeficiente R^2 , pode ser consultada na tabela 4.7. De acordo com os valores observados é possível validar os parâmetros obtidos para os diferentes sistemas, à exceção do sistema “Etiquetadora de Topo” da linha D. O coeficiente de correlação neste sistema apresenta uma precisão insatisfatória de 49%, no entanto optou-se por continuar com os valores recolhidos.

Tabela 4.7 – Valores de coeficiente de correlação R^2 .

Linha/Sistema	Coeficiente de correlação R^2		
	Lâmina de 90°	Cola Fria - Injetores	Etiquetadora de Topo
A	0,6893	0,9106	-----
B	0,8573	0,9296	-----
C	0,8632	0,8413	-----
D	-----	-----	0,4902

Analisando o parâmetro de forma, β , verifica-se que os seus valores para o sistema “Lâmina de 90°”, encontram-se próximos de 1, apresentando na linha B um valor ligeiramente inferior ($\beta = 0,9568$). Nas linhas A e C obteve-se um valor ligeiramente superior ($\beta = 1,0245$ e $\beta = 1,0263$). No caso do sistema “Cola Fria – Injetores” verifica-se uma situação idêntica: na linha A o valor do parâmetro de forma ($\beta = 0,8502$) é ligeiramente inferior a 1 e nas linhas B e C regista-se um valor ligeiramente superior ($\beta = 1,1552$ e $\beta = 1,1205$). Deste modo, não seria desapropriado considerar o parâmetro de forma nestes sistemas igual a 1, admitindo uma taxa de avarias constante dos sistemas e possibilitando o uso da distribuição exponencial negativa para os analisar. No entanto optou-se pela aplicação da distribuição de Weibull com os parâmetros anteriormente determinados.

Por último o sistema da “Etiquetadora de Topo” da linha D apresenta um valor de parâmetro de forma ($\beta = 1,802$) superior a 1, revelador de uma taxa de avarias não constante, com tendência crescente, o que sugere um comportamento típico da terceira zona da “Curva da banheira”, ou seja, fase de Desgaste.

4.6.2.2 Fiabilidade, Probabilidade de Falha e MTBF - Sistemas

Com os parâmetros da distribuição de Weibull determinados, passou-se à representação das funções fiabilidade e probabilidade acumulada de falha, em função do número de dias de operação. Estas encontram-se representadas na figura 4.12 para o sistema “Lâmina de 90°” da linha C e podem ser definidas como:

- **Probabilidade de falha:** Probabilidade de falha de qualquer um dos componentes do sistema ao fim do dia t, medido desde a última paragem do sistema na linha. Conseguindo-se calcular o seu valor pela função Probabilidade de Falha (2.25), que no caso do sistema representado é dada por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{7.5022}\right)^{1.0263}}$$

- **Fiabilidade:** Probabilidade de todos os componentes do sistema permanecerem em correto funcionamento ao fim do dia t, medido desde a última paragem do sistema na linha. O seu valor pode ser calculado pela função Fiabilidade (2.24) e no caso do sistema representado é dada por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{7.5022}\right)^{1.0263}}$$

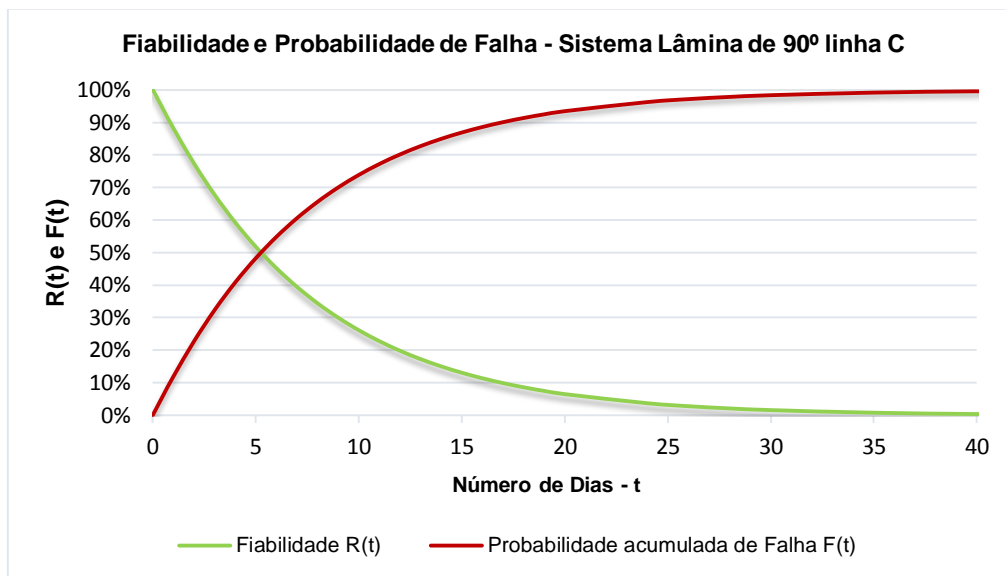


Figura 4.12 – Funções Fiabilidade R(t) e Probabilidade Acumulada de Falha F(t) – Lâmina de 90º linha C.

As representações gráficas das funções Fiabilidade e Probabilidade Acumulada de Falha, referentes aos restantes sistemas e linhas analisadas, encontram-se apresentadas no anexo H.A (agregado ao anexo H) e os correspondentes resultados em função do número de dias de missão podem ser consultados nas tabelas H.C.1, H.C.2 e H.C.3 do anexo H.C (agregado ao anexo H). A Fiabilidade e a Probabilidade Acumulada de Falha, que caracterizam o sistema “Lâmina de 90º” da linha C, podem ser consultadas na tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Valores de fiabilidade R(t) e probabilidade de falha F(t) em função do número de dias – Lâmina de 90° linha C.

Sistema Lâmina de 90° - Linha C		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t) %	Probabilidade de Falha F(t)%
1	88,1%	11,9%
2	77,3%	22,7%
3	67,7%	32,3%
4	59,2%	40,8%
5	51,7%	48,3%
6	45,2%	54,8%
7	39,4%	60,6%
8	34,4%	65,6%
9	30,0%	70,0%
10	26,1%	73,9%
15	13,1%	86,9%
20	6,5%	93,5%
40	0,4%	99,6%

Após caracterização da fiabilidade e probabilidade de falha do sistema, procedeu-se à estimativa do tempo médio entre falhas, MTBF (Mean Time Between Failures), pela equação (2.27):

$$MTBF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (4.15)$$

O tempo médio entre falhas dos diferentes sistemas e linhas encontram-se disponibilizados na tabela 4.9.

Tabela 4.9 – MTBF (Mean Time Between Failures), em dias de operação nos diferentes sistemas por tipo de linha.

Linha/Sistema	MTBF		
	Lâmina de 90°	Cola Fria Injetores	Etiquetadora de Topo
A	4	14	-----
B	8	8	-----
C	7	6	-----
D	-----	-----	2

De acordo com os resultados alcançados é possível observar que o sistema “Lâmina de 90°” apresenta um intervalo médio de 4 dias entre falhas para a linha A, 8 dias para a linha B e 7 dias para linha C. Estes valores médios do número de dias entre falhas correspondem a uma probabilidade de falhas de 60%, 64% e 61%, respetivamente.

No caso do sistema “Cola Fria – Injetores”, para a linha A o valor de MTBF é de 14 dias, o que corresponde a uma probabilidade de falha de aproximadamente 66%. Na linha B, este sistema apresenta um intervalo médio de 8 dias entre falhas, representando uma probabilidade de falha de cerca de 61%. Já para linha C, observa-se um valor de MTBF de 6 dias, com 63% de probabilidade de falha associada.

Por último o Sistema “Etiquetadora de Topo” da linha D apresenta apenas 2 dias de MTBF, correspondendo a este tempo de missão uma probabilidade de falha de cerca de 67%.

4.6.2.3 Função Densidade de Probabilidade e Taxa Instantânea de Falha dos Sistemas

Com os parâmetros da distribuição de Weibull anteriormente estimados, é possível ainda representar as funções Densidade de Probabilidade de Weibull (2.23) e Taxa Instantânea de Falha (2.26), em função do número de dias de missão.

Sistema “Lâmina de 90°”

Na figura 4.13 pode observar-se as representações das funções Densidade de Probabilidade de Weibull do sistema “Lâmina de 90°” por tipo de linha e encontram-se definidas pelas seguintes equações:

$$C: \quad f(t) = \frac{1,0263}{7,5022} \left(\frac{t}{7,5022} \right)^{(1,0263-1)} e^{-\left(\frac{t}{7,5022} \right)^{1,0263}}$$

$$B: \quad f(t) = \frac{0,9568}{7,7822} \left(\frac{t}{7,7822} \right)^{(0,9568-1)} e^{-\left(\frac{t}{7,7822} \right)^{0,9568}}$$

$$A: \quad f(t) = \frac{1,0245}{4,3179} \left(\frac{t}{4,3179} \right)^{(1,0245-1)} e^{-\left(\frac{t}{4,3179} \right)^{1,0245}}$$

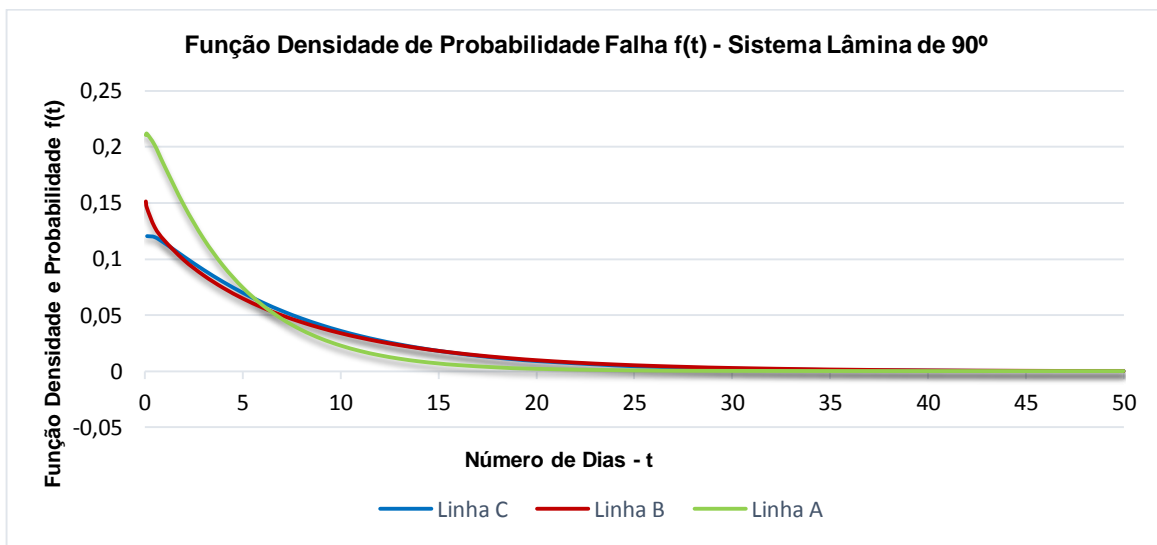


Figura 4.13 – Função Densidade de Probabilidade de Falha f(t) - Sistema Lâmina de 90° por linha.

A partir da figura 4.13 é possível observar-se que a função densidade de probabilidade de falha deste sistema assume uma forma semelhante à distribuição de exponencial negativa para as diferentes linhas, sendo esta característica da fase de vida útil de um sistema.

Por sua vez, a Taxa Instantânea de Falha para o sistema “Lâmina de 90°” por tipo de linha, encontra-se representada na figura 4.14 e é definida pelas seguintes equações:

$$C: \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1,0263}{7,5022} \left(\frac{t}{7,5022} \right)^{(1,0263-1)}$$

$$B: \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{0,9568}{7,7822} \left(\frac{t}{7,7822} \right)^{(0,9568-1)}$$

$$A: \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1,0245}{4,3179} \left(\frac{t}{4,3179} \right)^{(1,0245-1)}$$

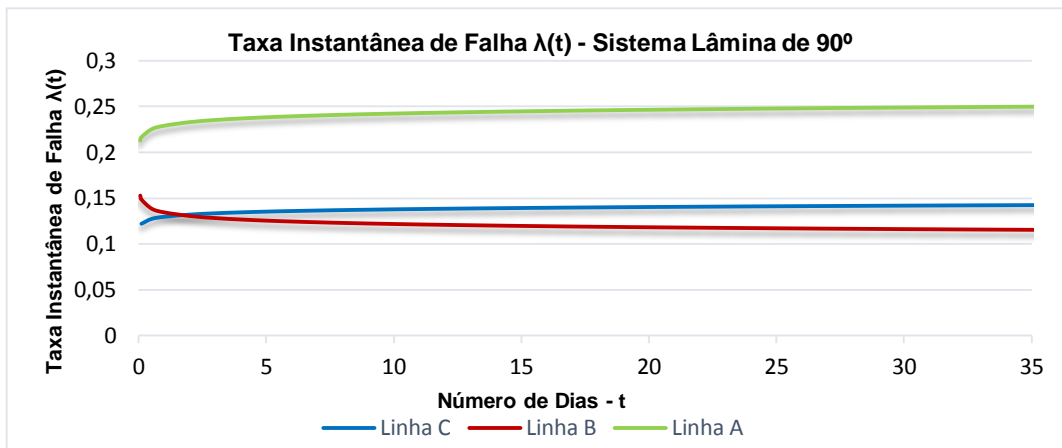


Figura 4.14 – Taxas Instantâneas de Falhas $\lambda(t)$ - Sistema Lâmina de 90° por linha.

Como se observa no sistema “Lâmina de 90°”, este apresenta para cada tipo de linha, uma curva da taxa instantânea de falha que tende para um valor constante, deste modo, não seria desajustado atribuí-se uma taxa de avaria constante em cada linha e considerar-se que o sistema se encontra na fase de vida útil. No entanto é perceptível que este não apresenta um valor constante de taxa instantânea de avaria nos primeiros dias de missão, observando-se um ligeiro decréscimo para a linha B e um ligeiro aumento para as linhas A e C.

Sistema “Cola Fria – Injetores”

Nas figuras 4.15 e 4.16 observam-se as representações das funções caracterizadas no presente sub-capítulo para o sistema “Cola Fria – Injetores”. Deste modo, a Função Densidade de Probabilidade para este sistema apresenta as seguintes equações por tipo de linha:

$$C: \quad f(t) = \frac{1,1205}{6,0136} \left(\frac{t}{6,0136} \right)^{(1,1205-1)} e^{-\left(\frac{t}{6,0136}\right)^{1,1205}}$$

$$B: \quad f(t) = \frac{1,1552}{8,4413} \left(\frac{t}{8,4413} \right)^{(1,1552-1)} e^{-\left(\frac{t}{8,4413}\right)^{1,1552}}$$

$$A: \quad f(t) = \frac{0,8502}{13,0058} \left(\frac{t}{13,0058} \right)^{(0,8502-1)} e^{-\left(\frac{t}{13,0058}\right)^{0,8502}}$$

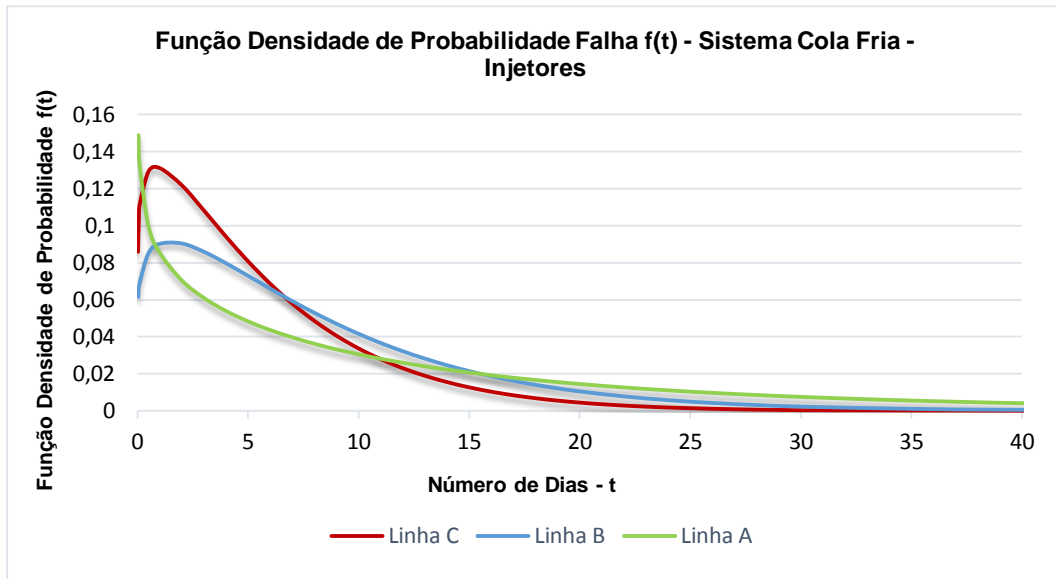


Figura 4.15 – Função Densidade de Probabilidade de Falha $f(t)$ - Sistema Cola Fria – Injetores por linha.

A partir da figura 4.15 é possível observar-se que a função densidade de probabilidade de falha deste sistema assume uma forma semelhante à distribuição de exponencial negativa para a linha A, sendo esta característica da fase de vida útil de um sistema. Mas para as linhas B e C, a função densidade de probabilidade de falha do sistema já começa a adotar uma forma semelhante à distribuição normal, a qual é característica de uma fase de desgaste de um sistema.

A Taxa Instantânea de Falha para o sistema em análise é definida pelas seguintes equações por tipo de linha:

$$C: \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1,1205}{6,0136} \left(\frac{t}{6,0136} \right)^{(1,1205-1)}$$

$$B: \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1,1552}{8,4413} \left(\frac{t}{8,4413} \right)^{(1,1552-1)}$$

$$A: \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{0,8502}{13,0058} \left(\frac{t}{13,0058} \right)^{(0,8502-1)}$$

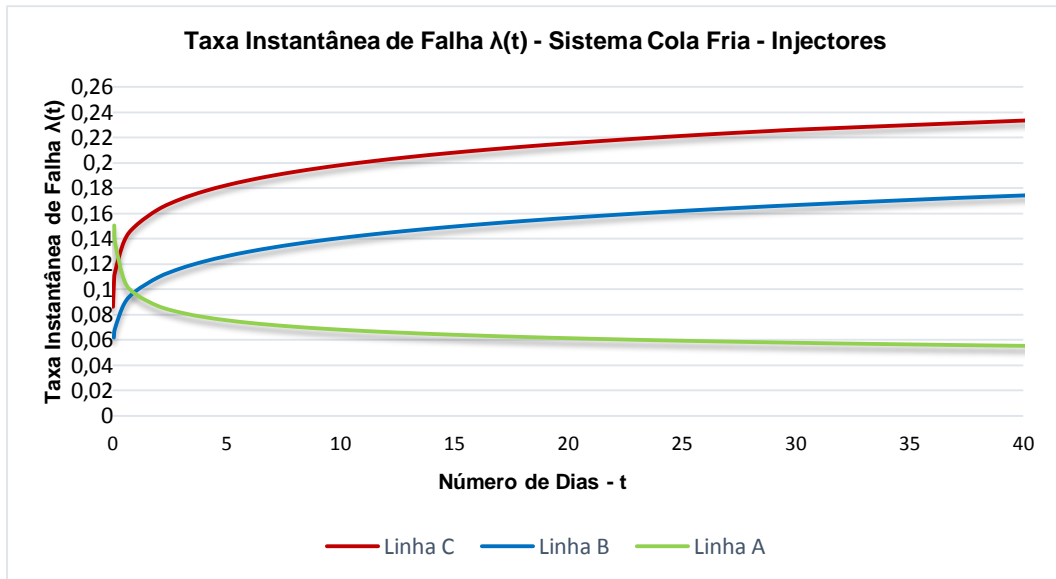


Figura 4.16 – Taxas Instantâneas de Falhas $\lambda(t)$ - Sistema Cola Fria – Injectores por linha.

No gráfico de taxa instantânea de falha (figura 4.16) do sistema “Cola Fria – Injectores”, é possível verificar-se que as curvas do sistema na linha C e B, apresentam uma curva com ligeira inclinação positiva e não constante, cujo comportamento corresponde ao início da fase de desgaste do sistema, com o parâmetro de forma β superior a 1. Em relação à curva deste mesmo sistema na linha A, esta apresenta uma inclinação negativa e não constante, correspondendo à primeira zona da “curva da banheira” ou zona de mortalidade infantil, com o parâmetro β inferior a 1.

Sistema “Etiquetadora de Topo”

Nas figuras 4.17 e 4.18 podem observar-se as funções Densidade de Probabilidade e Taxa Instantânea de Falha do sistema “Etiquetadora de Topo” da linha D, respetivamente. A Função Densidade de Probabilidade, para este sistema, é definida pela seguinte equação:

$$D: \quad f(t) = \frac{1,802}{1,8815} \left(\frac{t}{1,8815} \right)^{(1,802-1)} e^{-\left(\frac{t}{1,8815}\right)^{1,802}}$$

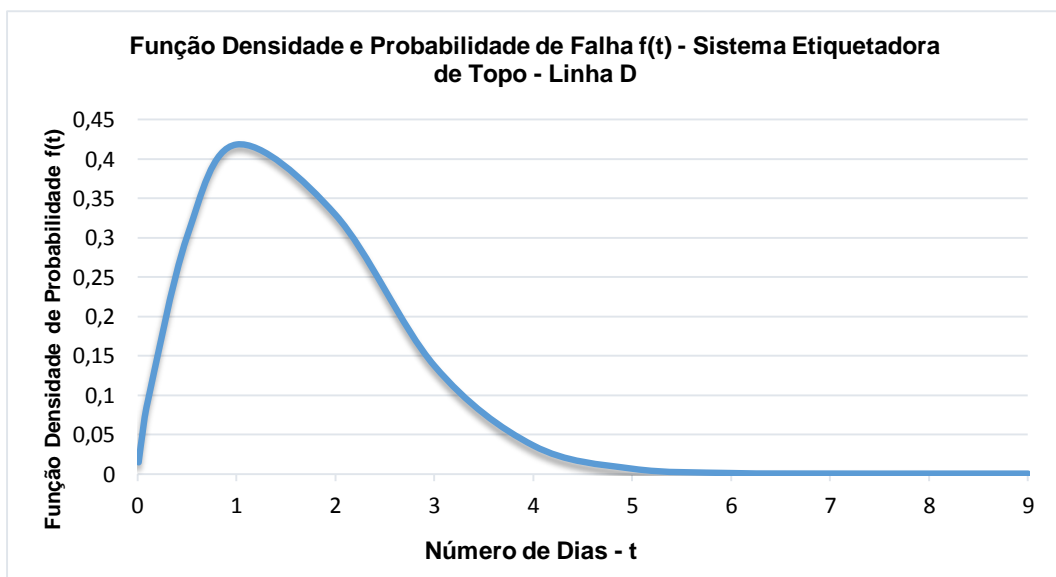


Figura 4.17 – Função Densidade de Probabilidade de Falha $f(t)$ - Sistema Etiketadora de Topo – Injetores – Linha D.

A partir da figura 4.17 é possível observar-se que a função densidade de probabilidade de falha do sistema “Etiketadora de Topo” assume uma forma semelhante à distribuição normal, a qual é característica de uma fase de desgaste de um sistema.

A Taxa Instantânea de Falha deste sistema é dada pela seguinte equação:

$$D: \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1,802}{1,8815} \left(\frac{t}{1,8815} \right)^{(1,802-1)}$$

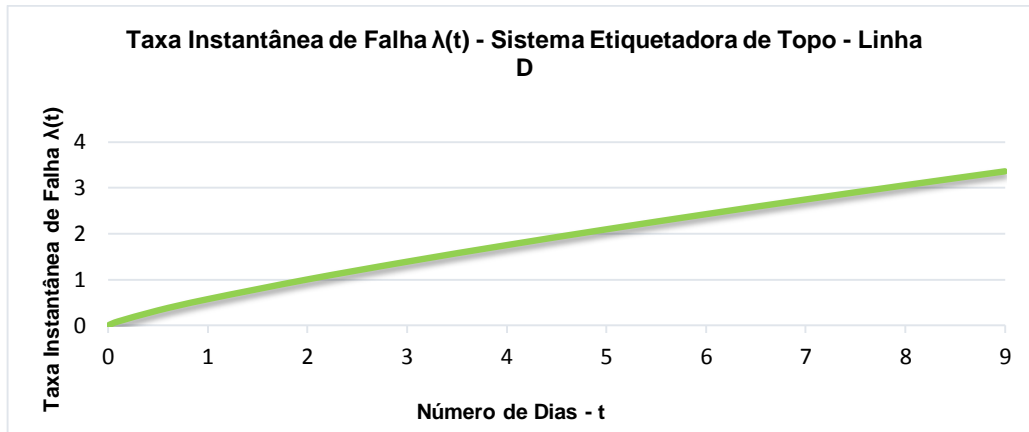


Figura 4.18 – Taxas Instantâneas de Falhas $\lambda(t)$ - Sistema Etiketadora de Topo - Linha D.

A curva da Taxa Instantânea de Falha (figura 4.18) do sistema “Etiketadora de Topo” apresenta uma curva com uma inclinação positiva acentuada, cujo comportamento corresponde à fase de desgaste do sistema ou última a zona da “curva da banheira”, com o parâmetro de forma β superior a 1.

4.6.2.4 Histograma TBF (*Time Between Failures*)

Caraterizados os diferentes sistemas através da distribuição de Weibull, torna-se pertinente analisar como se encontram distribuídos os dados pelos quais se obtiveram os seus parâmetros. O histograma dos dados referentes ao sistema “Lâmina de 90º” da linha C pode ser consultado na figura 4.19 e os histogramas relativos aos restantes sistemas e linhas encontram-se anexo I.

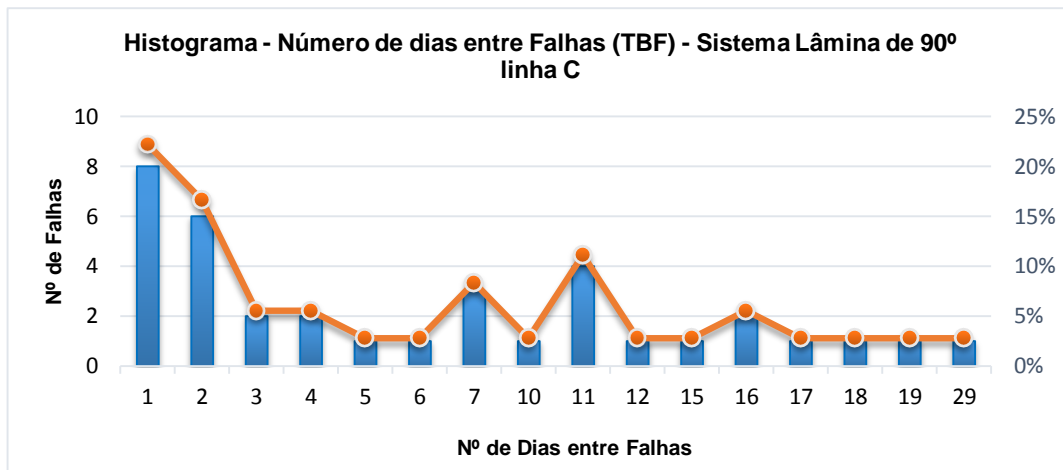


Figura 4.19 – Histograma - Número de dias entre Falhas (TBF) - Sistema Lâmina de 90º linha C.

Analisando-se a figura 4.19, verifica-se que a grande parte das falhas do sistema “Lâmina de 90º” na linha C, ocorrem nos primeiros dois dias em que se encontram em operação. Cerca de 22% das falhas surgem no primeiro dia de operação e cerca de 17% quando este sistema apresenta dois dias de operação, verificando-se uma diminuição do número de falhas com o aumento dos dias em operação. Comportamento idêntico é verificado na linha A, em que 43% das falhas do sistema foram registadas no primeiro dia de operação e na linha B cerca de 27% das falhas ocorreram também no primeiro dia de operação. Se para a linha B este comportamento é justificável pelo parâmetro de forma β ligeiramente inferior a 1, ou seja, um comportamento típico da fase de mortalidade infantil, nas restantes linhas esta situação não é verificável pelos parâmetros de forma estimados. Deste modo, entende-se que as falhas/paragens ocorridas devem resultar de afinação/montagem do sistema incorretas.

Nos histogramas do sistema “Cola Fria - Injetores”, observa-se para todas as linhas uma maior frequência de falhas no início de operação, no entanto, a distribuição desta frequência encontra-se ligeiramente mais dispersa. O facto de este sistema ser constituído por um conjunto de quatro “Injetores” iguais e apresentar uma maior frequência de falhas no início de operação do sistema, sugere que poderá existir a falha de injetores diferentes entre um curto intervalo de tempo. Deste modo entende-se como necessária a caracterização do comportamento do componente “Injetor”.

Por último, o sistema “Etiquetadora de Topo” da linha D regista uma frequência de 66% de falhas no primeiro dia de operação. Conjugando-se esta observação com o valor estimado do parâmetro de forma β do sistema, é possível dizer-se que o sistema se encontra com desgaste acentuado, necessitando urgentemente de uma intervenção de manutenção que o restitua um estado de “novo”.

4.6.2.5 Fiabilidade, Probabilidade de Falha e MTBF - Componente Cola Fria - Injetores

No caso do sistema “Cola Fria - Injetores” em que este é composto por 4 Injetores idênticos, procurou-se caracterizar o componente “Injetor” individualmente. Contudo, não existindo informação sobre qual dos “Injetores” falhou em cada um dos eventos de paragem, assumiu-se que todos os injetores do sistema estão sujeitos às mesmas cargas em operação e encontram-se associados de

acordo com um sistema em série, como adotado anteriormente. É então possível a determinação dos parâmetros da distribuição de Weibull referentes ao componente “Injetor” através dos parâmetros do sistema “Cola Fria – Injetores” já estimados.

De acordo com a lógica de um sistema em série, a fiabilidade do sistema, R_s , para uma missão de duração t , é igual ao produto das fiabilidades dos vários componentes, R_i , para a mesma missão. Desta forma, generalizando-se para n componentes iguais, teremos:

$$R_s = \prod_i^n R_i \quad (4.16)$$

Podendo-se assim relacionar os parâmetros de Weibull do sistema com os de cada componente n pelas seguintes expressões:

$$\beta_s = \beta_i = \beta \quad (4.17)$$

Correspondendo β_s , ao parâmetro de forma do sistema e β_i , ao parâmetro de forma de cada componente, verifica-se uma igualdade justificada pelo significado físico deste parâmetro. Ou seja, ao efetuar-se a caracterização do mecanismo de degradação existente no sistema, necessariamente todos os componentes envolvidos apresentam o mesmo mecanismo de degradação. No caso do parâmetro de escala, η , este é obtido pela expressão 4.18.

$$\eta_s = \left[\sum_1^n \frac{1}{\eta_i^\beta} \right]^{-\frac{1}{\beta}} \quad (4.18)$$

com η_s a representar o parâmetro de escala ou vida característica do sistema e η_i , o parâmetro de escala de cada um dos componentes. A expressão anterior pode ser ajustada ao caso de 4 componentes, em que resulta:

$$\eta_i = \eta_s \times 4^{-\frac{1}{\beta}} \quad (4.19)$$

Desta forma, para o componente “Injetor” obtiveram-se os seguintes parâmetros de Weibull por tipo de linha:

- Linha C: $\beta_s = \beta_i = \beta = 1,1205$ $\eta_i = 20,723$
- Linha B: $\beta_s = \beta_i = \beta = 1,1552$ $\eta_i = 28,027$
- Linhas A: $\beta_s = \beta_i = \beta = 0,8502$ $\eta_i = 66,417$

Através dos parâmetros determinados para o componente “Injetor”, torna-se possível a representação das funções Fiabilidade (2.24) e Probabilidade Acumulada de Falha (2.25) em função dos dias de operação do “Injetor”. Para a linha C, estas encontram-se representadas na figura 4.20 e os correspondentes valores na tabela 4.10, sendo possível consultar-se as representações gráficas referentes às linhas A e 7 no anexo H.B e os seus valores na tabela H.C.4 do anexo H.C (integrados no anexo H). Assim, as funções correspondentes ao componente “Injetor” da linha C definem-se como:

- **Probabilidade de falha:** Probabilidade do componente “Injetor” falhar no dia de operação t .

Função Probabilidade de Falha: $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{20,723}\right)^{1,1205}}$

- **Fiabilidade:** Probabilidade do componente “Injetor” permanecer em correto funcionamento no dia de operação t.

Função Fiabilidade: $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{20,723}\right)^{1,1205}}$

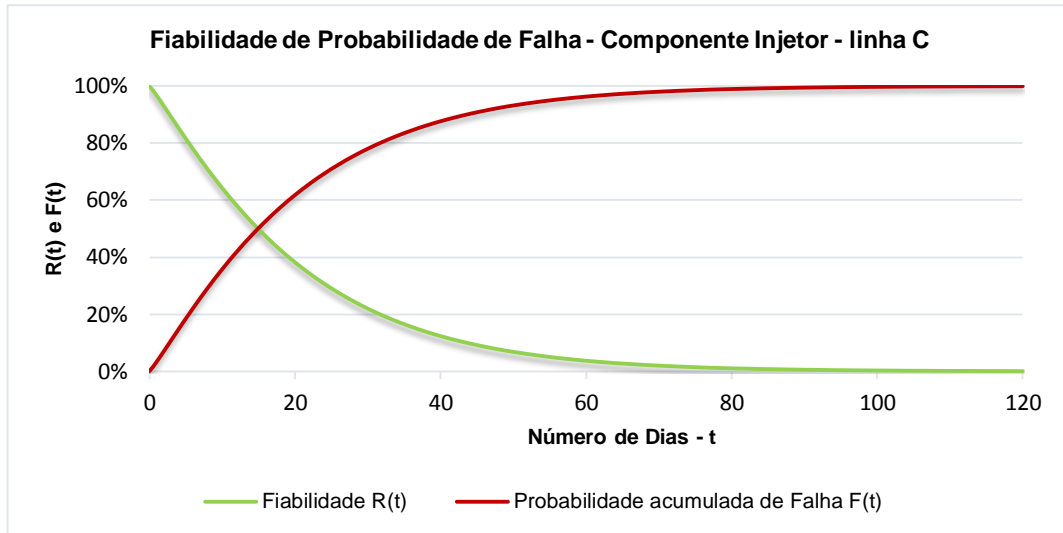


Figura 4.20 – Funções Fiabilidade R(t) e Probabilidade Acumulada de Falha F(t) – componente “Injetor” linha C.

A fiabilidade e probabilidade de falha do componente “Injetor” da linha C em função do número de dias em missão podem ser consultadas na tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Valores de fiabilidade R(t) e probabilidade de falha F(t) em função do número de dias – componente “Injetor” linha C.

Componente Injetor – Linha C		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t) %	Probabilidade de Falha F(t)%
1	96,7%	3,3%
5	81,6%	18,4%
10	64,3%	35,7%
20	38,3%	61,7%
30	22,0%	78,0%
40	12,4%	87,6%
50	6,8%	93,2%
70	2,0%	98,0%
90	0,6%	99,4%
120	0,1%	99,9%

Após a caracterização da fiabilidade e probabilidade de falha do componente, estimou-se o tempo médio entre falhas de cada “Injetor” por linha pela equação (2.27):

$$MTBF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (4.20)$$

Na tabela 4.11 encontrando-se os resultados obtidos para as diferentes linhas.

Tabela 4.11 – MTBF (Mean Time Between Failures) em dias, do componente “Injetor” por linha.

Linhas	MTBF
A	72
B	27
ICA	20

Através dos resultados obtidos, será possível avaliar-se a realização de eventos de manutenção preventiva no componente. No entanto, admitindo que os 4 injetores de cada sistema sejam solicitados de forma diferente durante a operação e tendo em conta os custos associados à reparação do injetores, sugere-se que numa primeira fase se prossiga com a manutenção do tipo corretiva. Deste modo deve existir um determinado número de “Injetores” reparados em *stock* para satisfazer as necessidades de substituição. O tipo de manutenção a aplicar neste componente deve ser reavaliado quando estiverem disponíveis dados que facultem informação mais detalhada sobre as falhas no componente.

4.6.3 Propostas de Ações

Com os sistemas caracterizados pode-se então sugerir ações que visem uma melhoria dos tipos de eventos de paragens estudados. Deste modo passam-se a apresentar as medidas propostas para cada tipo de evento.

4.6.3.1 Lâmina de 90°

Existindo a possibilidade de verificação do estado do sistema, e tendo em conta o MTBF e os parâmetros de Weibull estimados (tabela 4.12), sugere-se a realização de ações de manutenção condicionada (intervenção de manutenção sob condição). As ações a realizar podem ser definidas de acordo com o grau de fiabilidade que se entender correto ou através dos intervalos de tempo MTBF estimados. Face ao comportamento característico apresentado por estes sistemas, em que é admissível considerar-se a existência de uma natureza de falha casual (fase de “vida útil”), seria adequado propor-se a realização de eventos de manutenção preventiva de acordo com o MTBF.

No entanto, considerando-se o período de atividade da secção e algumas limitações a nível de recursos humanos, sugere-se que se proceda à realização dos eventos de manutenção preventiva condicionada com uma periodicidade semanal (ao fim de 5 dias de operação), coincidindo a sua execução com o dia reservado à manutenção das linhas produtivas. De acordo com esta periodicidade, a fiabilidade do sistema será de cerca de 31% na linha A e de 52% para as linhas B e C.

Tabela 4.12 – MTBF (Mean Time Between Failures) em dias, e parâmetros de Weibull do sistema “Lâmina de 90°” por linha.

Linha	MTBF	β	η
A	4	1,0245	4,3179
B	8	0,9568	7,7822
C	6	1,0263	7,5022

No caso dos responsáveis da secção optarem pela realização de ações de manutenção preventiva condicionada de acordo com a fiabilidade desejada, o intervalo de tempo entre eventos pode ser determinado através da manipulação da equação de Fiabilidade (2.24), resultando a seguinte expressão:

$$t = \eta \times [-\ln(R)]^{\frac{1}{\beta}} \quad (4.21)$$

em que R é a fiabilidade desejada para o sistema, t o intervalo de tempo entre inspeções, η e β os parâmetros de escala e forma da distribuição de Weibull. Como exemplo, para uma fiabilidade desejada de 70% obtêm-se os seguintes intervalos de tempo por linha:

$$\begin{aligned} \text{A:} \quad t &= 4,3179 \times [-\ln(0,7)]^{\frac{1}{1,0245}} & t &= 1,58 \text{ dias} \approx 2 \text{ dias} \\ \text{B:} \quad t &= 7,7822 \times [-\ln(0,7)]^{\frac{1}{0,9568}} & t &= 2,65 \text{ dias} \approx 3 \text{ dias} \\ \text{C:} \quad t &= 7,5022 \times [-\ln(0,7)]^{\frac{1}{1,0263}} & t &= 2,75 \text{ dias} \approx 3 \text{ dias} \end{aligned}$$

Estes eventos, de modo a não afetarem a operação da linha, poderiam ser executados durante a troca de turno ou durante as paragens programadas dos operadores da linha.

Por outro lado, de forma a evitar a existência de falhas devido a erro humano, isto é, causadas por afinação/montagem incorreta e ainda tratando-se de um sistema algo dispendioso, entende-se que as ações de manutenção realizadas devem obedecer a um determinado procedimento padrão.

Deste modo, foi preparado um procedimento de substituição/afinação do sistema “Lâmina de 90°” para as linhas Bosch e C, sendo a sua elaboração delineada pela seguinte metodologia:

1. Observação das ações de manutenção realizadas por dois técnicos de manutenção experientes;
2. Ajuste das informações recolhidas com as informações técnicas dos manuais de cada equipamento;
3. Recolha do parecer sobre o esboço do procedimento elaborado, junto dos técnicos de manutenção e do responsável da secção.
4. Retificação do procedimento de acordo com as opiniões recolhidas e posterior implementação.

Nos procedimentos elaborados constam as tarefas de montagem e/ou afinação a executar para o sistema “Lâmina de 90°” e podem ser consultados nos anexos J.A e J.B (integrados no anexo J). Estes foram apresentados aos técnicos de manutenção individualmente com a colaboração dos responsáveis da secção e encontram-se implementados.

4.6.3.2 Cola Fria - Injetores

O sistema “Cola Fria - Injetores” de acordo com a caracterização efetuada seria passível de ações de manutenção preventiva como sugeridas no sistema anterior, no entanto, uma operação de inspeção neste sistema é algo complexa de executar. Desta forma, no imediato optou-se por aconselhar

a continuação de uma manutenção do tipo curativa, recorrendo-se, sempre que necessário, à utilização de componentes de substituição recuperados.

Como a reparação dos “Injetores” é realizada pelo técnicos de manutenção, assim como a manutenção do sistema, procurou-se estabelecer uma quantidade de *stock* de “Injetores” recuperados para dar resposta às falhas ocorridas durante uma semana. Esta periodicidade de reposição de *stock* pretende coincidir com o dia destinado à manutenção das linhas.

Existindo a possibilidade das falhas registadas não envolverem necessariamente a substituição do componente, ou estarem associadas a um outro tipo de componente do sistema “Cola-fria – Injetores”, assume-se que o componente “Injetor” apresente uma probabilidade de falha real inferior à estimada. Desta forma sugere-se que o nível objetivo de *stock* procure satisfazer um nível de serviço de cerca de 95%.

De acordo com as fases de vida que os componentes analisados apresentam, em que as taxas de avarias não se revelam constantes, impossibilita o uso da distribuição de Poisson para o cálculo da probabilidade de serem necessárias K componentes de substituição, durante um determinado período de tempo. Deste modo, para se determinar as necessidades de substituição de um componente, recorreu-se à função de probabilidade acumulada de falha desse componente, obtida através de uma análise de fiabilidade segundo a distribuição de Weibull e anteriormente definida no capítulo 4.5.2.

Conhecida a função de probabilidade de falha, recorreu-se ao método de simulação de Monte-Carlo para se simular as falhas e conseqüentes substituições do componente em cada linha. Assim, torna-se possível caracterizar as necessidades de substituições e determinar uma procura média e respetivo desvio padrão. Através do modelo de reposição de *stock* de revisão periódica e dos dados obtidos da simulação, foi possível determinar-se o nível de objetivo de *stock* necessário para um nível de serviço de 95%.

Simulação de Monte-Carlo

A simulação de Monte-Carlo foi realizada para cada linha e foi delineada de acordo com os seguintes procedimentos:

- Definição da função probabilidade acumulada de falhas, $F(t)$, para cada uma das linhas, através da análise de fiabilidade realizada, em que os parâmetros da distribuição de Weibull podem ser observados na tabela 4.13;

Tabela 4.13 – MTBF (Mean Time Between Failures) em dias, e parâmetros de Weibull do sistema e componente - “Cola Fria - Injetores” por linha.

Linha	Sistema			Componente		
	MTBF	β	η	MTBF	β	η
A	14	0,8502	13,006	72	0,8502	66,417
B	8	1,1552	8,4413	27	1,1552	28,027
C	6	1,1205	6,0136	20	1,1205	20,723

Função Probabilidade de Falha (2.25): $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$

- Obtenção da expressão que determina o valor de t em dias, que corresponde ao momento que se terá atingido uma certa probabilidade acumulada de falha, F(t), deduzida a partir da expressão da Função Probabilidade de Falha (2.25):

$$t = \eta \times \left[\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right) \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (4.22)$$

- Simulação de diversas falhas em cada linha, atribuído à probabilidade acumulada de falha F(t) um valor aleatório entre 0 e 1. Posterior determinação do número de dias correspondente à probabilidade de falha através da expressão (4.22);
- Conversão do número de dias em semanas de operação, em que cada semana corresponde a 5 dias de operação, considerando que não existe operação das linhas aos Domingos e Segundas (dia de paragem para manutenção das linhas);
- Cálculo do número de semanas acumuladas em que ocorre cada falha por linha, permitindo a determinação do momento em que ocorre uma falha em relação ao início da simulação (tabela 4.14);

Tabela 4.14 – Exemplo da simulação da procura semanal de um “Injetor” na linha A.

Simulação de Monte-Carlo				
Nº de Falha	F(t) Aleatório entre [0,1]	t -Nº de Dias entre Falhas	Nº de Dias Acumulados	Nº de Semanas Acumulados
1	0,3507931	4,8461879	4,8461879	0,9692376
2	0,6802847	15,1779815	20,0241694	4,0048339
3	0,8079622	23,4401410	43,4643104	8,6928621
4	0,4833419	7,9831713	51,4474817	10,2894963
5	0,4958168	8,3318266	59,7793083	11,9558617
6	0,5562597	10,1878437	69,9671520	13,9934304
7	0,7177209	17,1458405	87,1129925	17,4225985
8	0,4096347	6,1227446	93,2357371	18,6471474
9	0,6549303	13,9904058	107,2261429	21,4452286
10	0,8633674	29,2256863	136,4518292	27,2903658
...

- Contagem do número de falhas que ocorrem dentro de um intervalo de tempo semanal;
- Contagem semanal dos dados obtidos para um período temporal de 10 anos, ou seja, 520 semanas;
- Cálculo da média de procura semanal nas 520 semanas e respetivo desvio padrão;
- Cálculo do nível objetivo de stock (NO), isto é, número de unidades necessárias pelo modelo de reposição de stock de revisão periódica de forma a assegurar um nível de serviço de 95%, recorrendo à expressão:

$$NO = \bar{D} \cdot (P + L) + Z \cdot \sigma_s \cdot \sqrt{P + L} \quad (4.23)$$

em que \bar{D} é a procura média (unidades/semana), P o período de revisão (semanas), L o prazo de aprovisionamento (semanas), Z a variável Normal reduzida correspondente ao nível de

serviço pretendido e σ_s o desvio padrão da procura de unidades (unidades/semana). Admitindo que P+L é igual a uma semana obteve-se os resultados da tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Total de componentes substituídos em 520 semanas simuladas, média semanal de procura, respetivo desvio padrão e número de unidades sugeridas por linha.

	A	B	C
Total de Falhas em 520 semanas	167	301	442
Procura Média Semanal (unidades/semana)	0,3212	0,57885	0,85
Desvio Padrão Semanal (unidades/semana)	0,5873	0,6545	0,9118
NO com nível de serviço de 95%	1,2902	1,6588	2,3544
Número de unidades propostas em stock	2	2	3

De acordo com os resultados obtidos e conhecendo-se que as linhas utilizam o mesmo tipo de “Injetor”, propõe-se que exista um *stock* de **7 componentes “Injetor” reparados**. Este deve ser reposto a cada semana, com o número de componentes em falta.

Após a determinação do nível de *stock*, foi preparado um procedimento de reparação do componente “Injetor” de forma a minimizar a frequência de falhas devido a erro humano na sua reparação.

A elaboração deste procedimento teve como base um método idêntico ao utilizado no caso do sistema “Lâmina de 90” e baseou-se nos seguintes passos:

1. Observação da ação de reparação do componente “Injetor”, realizada pelo técnico de manutenção, o qual apresenta maior experiência neste tipo de evento;
2. Ajuste da informação recolhida com a informação técnica do *kit* de reparação do componente;
3. Recolha do parecer sobre o esboço do procedimento elaborado, junto dos técnicos de manutenção e do responsável da secção.
4. Retificação do procedimento de acordo com as opiniões recolhidas e posterior implementação.

O procedimento de reparação do componente “Injetor” encontra-se implementado e é constituído por uma lista de tarefas a executar, podendo ser consultado no anexo J.C (integrado no anexo J).

Devido à dificuldade em realizar eventos de manutenção condicionada no sistema “Cola Fria – Injetores”, sugere-se a numeração dos “Injetores” em cada sistema e posterior recolha de informação relativa às falhas de cada um destes componentes. Desta forma será possível realizar uma caracterização do comportamento do componente com uma maior precisão e reavaliar a política de manutenção a seguir.

4.6.3.3 Etiquetadora de Topo

Como anteriormente observado, o sistema “Etiquetadora de Topo” da linha D mostra um comportamento típico da fase de desgaste, apresentando uma função de taxa de falha estritamente crescente (valores dos seus parâmetros de distribuição de Weibull podem ser visualizados na tabela 4.16). O comportamento analisado vem corroborar o que foi possível verificado na secção durante o período de acompanhamento da atividade, ou seja, os eventos de manutenção realizados neste sistema são regularmente de caráter paliativos, não existindo a reposição do sistema para um estado de “novo”. Deste modo, é possível considerar que a causa da falha inicial não é resolvida, culminando em sucessivas falhas do sistema num curto intervalo de tempo.

Tabela 4.16 – MTBF (Mean Time Between Failures) em dias, e parâmetros de Weibull do sistema “Etiquetadora de Topo” na linha D.

<i>Linha</i>	MTBF	β	η
<i>D</i>	2	1,802	1,8815

A caracterização realizada ao sistema sugere que este deve ser alvo de uma manutenção adequada o quanto antes. Contudo devido à antiguidade do equipamento e à falta de informação relativamente aos seus componentes, a obtenção de peças de substituição revela-se uma tarefa extremamente complicada para os responsáveis da secção. Uma outra questão que restringe a reparação eficiente do sistema é a viabilidade de se executar um investimento numa linha que se regista uma fraca procura do produto fabricado. Segundo os responsáveis da secção, o produto realizado nesta linha apresenta uma tendência de procura decrescente, desmotivando a realização de elevados investimentos.

Desta forma, tendo o conhecimento que já existem planos de ações de manutenção na linha, relativos a outros tipos de evento de paragem, e que as falhas neste sistema não provocam danos maiores, sugere-se que se mantenha o recurso a ações de manutenção do tipo curativa.

Contudo, assim que possível, seria adequado a reparação completa deste sistema. Por outro lado, seria também relevante a recolha de informação mais detalhada sobre as falhas neste, permitindo analisar e caracterizar os seus componentes críticos.

4.6.3.4 Limpezas/Preparação de Arranque

Relativamente aos eventos de paragem do tipo “Limpezas/Preparação de Arranque”, através da observação da atividade e das entrevistas realizadas aos colaboradores, foi possível compreender que as tarefas associadas são imprescindíveis ao bom funcionamento das linhas. Isto é, a execução adequada destas possibilitará a redução da frequência de eventos de outros tipos de paragem. Por exemplo, se no sistema “Formação do Pacote – Mandris” existirem demasiados vestígios de cola, é muito provável a ocorrência de eventos de paragem deste tipo. Outra vantagem na realização destas tarefas é a possibilidade do operador detetar alguma irregularidade e reparar-la de imediato. No entanto,

foi também perceptível que a realização das tarefas não segue um padrão de execução, sendo estas efetuadas ao critério de cada colaborador.

Deste modo, e com o objetivo de se minorar este tipo de eventos de paragem, procedeu-se à preparação de uma lista de tarefas normalizada a executar ao início e ao fim de um turno, para os diferentes postos de trabalho de cada linha.

A informação que serviu de base à elaboração destas normas foi obtida por:

- Observação da atividade da secção – Com esta observação, constou-se que ocasionalmente existia uma desorganização ou falta de limpeza na envolvente e no posto de trabalho.
- Entrevistas semiestruturadas a 8 colaboradores – Com esta entrevista foi possível averiguar-se quais as tarefas essenciais ao bom funcionamento da linha, as que de momento são realizadas e ainda algumas que deveriam ser implementadas.
- Opinião do responsável da secção sobre questões relacionadas com a supervisão na secção e procedimentos das tarefas executadas.

Após a recolha de informação, foram elaboradas as listas de modo a permitir a sua utilização como folha de verificação para os operadores, documento de supervisão para as chefias de turno e ainda possibilitar a recolha de informação relativo ao tempo de execução das tarefas. Estas normas encontram-se implementadas na secção e podem ser visualizadas no anexo K.

4.6.3.5 Controlo de Ações de Manutenção

Verificando-se a carência de alguns dados relevantes para o desenvolvimento da presente dissertação, a fim de se realizar uma análise com um maior rigor aos eventos de paragem, foi proposta a recolha de informação detalhada de cada evento de paragem.

Deste modo, procedeu-se à elaboração de um relatório de ações de manutenção, o qual deverá ser preenchido pelos técnicos de manutenção em cada intervenção realizada.

O relatório foi elaborado de forma a possibilitar o registo de algumas informações que se entendem como indispensáveis à boa gestão da manutenção, tais como:

- O tipo de evento de manutenção executado;
- Momento da ocorrência da falha e início/fim da intervenção;
- Tipos de componentes envolvidos e quais os substituídos;
- Sintomas e causa da falha;
- Atividades realizadas e ações futuras.

Esta informação possibilitará o cálculo de alguns importantes indicadores de gestão, como por exemplo:

- T5 e T6 da Norma Europeia EN 15341:2007
- MTTR (Mean Time To Repair e Restore);
- MTBF (Mean Time Between Failures);

- MTBM (Mean Time Between Maintenance, Corretive or Preventive);
- Custos associados a cada intervenção.

O documento já se encontra implementado na secção e é possível ser consultado no anexo L.

4.6.3.6 Sugestão de Formação

De forma a maximizar os resultados das propostas apresentadas, sugere-se a realização de ações de formação aos colaboradores sobre os procedimentos, normas ou metodologia que se pretendem aplicar. Este tipo de ações têm como principal objetivo capacitar os intervenientes para uma adequada execução e cumprimento das medidas. No entanto, e não menos importantes, estas também têm o intuito de envolver e motivar os colaboradores para a concretização dos objetivos propostos.

Porém, não existindo momento oportuno para a realização deste tipo de ações, durante a realização do presente trabalho, as medidas elaboradas foram apresentadas individualmente com a colaboração do responsável da secção.

5 Conclusão e Trabalhos Futuros

5.1 Conclusões

A presente dissertação teve como principais objetivos a análise da eficiência global dos equipamentos (OEE), a definição de metodologias de análise das perdas e elaboração de soluções que visam uma melhoria da eficiência dos equipamentos produtivos.

Numa primeira fase, começou-se por analisar a metodologia de cálculo do OEE utilizada pela empresa, na qual foi possível identificar algumas lacunas relacionadas com a impossibilidade de avaliação das perdas de eficiência devido a atividades planeadas (a manutenção planeada, falta de encomendas, etc). Entretanto, foi proposto um método alternativo de cálculo e sugerida a caracterização da disponibilidade dos equipamentos recorrendo a dois subindicadores de manutenção (T5 e T6P).

Através da análise das eficiências globais das linhas, foi perceptível que as maiores perdas de eficiência estão relacionadas com a disponibilidade e o rendimento dos equipamentos produtivos. De acordo com os subindicadores propostos para caracterização da disponibilidade, foi ainda possível perceber que as paragens planeadas representam uma das maiores origens de perdas, contudo, este tipo de perdas não foi abordado no presente estudo devido à carência de dados.

Por outro lado, compreendeu-se que poderá existir uma relação entre as perdas de disponibilidade devido a paragens não planeadas e as perdas de rendimento nos equipamentos produtivos. Ou seja, devido ao facto da maioria dos equipamentos envolvidos trabalhar a altas rotações, e conseqüentemente a cada início de operação necessitarem de um período de transição de velocidades, foi possível considerar-se que a frequência de eventos de paragem pode afetar diretamente os dois indicadores.

Com o intuito de identificar os tipos de eventos de paragem críticos em cada linha, inicialmente, foi realizada uma avaliação de impacto das classes/equipamentos com base nos critérios de tempo e de frequência dos eventos de paragem. Posteriormente os tipos de eventos de paragem pertencentes às classes consideradas como críticas foram, por sua vez, avaliados quanto ao seu impacto individual para cada tipo de linha.

Após a identificação dos tipos de eventos críticos, foram selecionados os eventos de paragem do tipo “Lâmina de 90°”, “Cola Fria-Injetores”, “Etiquetadora de Topo” e “Limpezas/Preparação de Arranque” para averiguação das suas possíveis causas, através da recolha de informação juntos dos colaboradores. A sua análise foi realizada através de diagramas de Ishikawa.

De seguida, recorrendo-se à função probabilidade de Weibull como modelo estatístico para a determinação da função probabilidade de falhas desses sistemas críticos, foram realizadas análises de fiabilidade aos sistemas de componentes envolvidos em cada tipo de evento. Neste contexto, foi também determinado o tempo médio entre falhas (MTBF) de cada sistema, permitindo sugerir-se o modelo de manutenção a aplicar a cada um dos casos.

No sistema de componentes da “Lâmina de 90°” foi sugerida a realização de manutenção do tipo condicionada com períodos de inspeção semanal. Já no caso do sistema “Cola Fria-Injetores” entende-se que por agora a manutenção do tipo curativa é adequada, sugerindo-se o uso de componentes de substituição reparados. Quanto ao sistema “Etiquetadora de Topo” propôs-se a realização de uma manutenção que vise a substituição dos componentes desgastados.

No caso do sistema “Cola Fria-Injetores”, foi ainda realizada a análise de fiabilidade ao componente “Injetor”. O nível objetivo de *stock* do componente “Injetor” reparado foi definido através da função probabilidade de falha e do modelo de simulação de Monte-Carlo. O modelo em causa possibilitou a determinação de uma procura média semanal e respetivo desvio padrão da procura do componente, cuja taxa de falhas não é constante. Os dados estimados de procura foram utilizados para definir o nível objetivo de *stock* semanal consoante o nível de serviço adotado.

De modo a minimizar as falhas devido a erro humano, foram elaborados procedimentos de manutenção para o sistema “Lâmina de 90°” e de reparação para os componentes “Injetor”. Em relação ao tipo de evento “Limpezas/Preparação de Arranque”, foram criadas listas de tarefas normalizadas para cada posto trabalho por linha.

Para permitir uma maior precisão de futuras análises de eventos de paragem sugeriu-se a utilização de relatórios de manutenção como fonte de informação. Deste modo, foi elaborado um modelo de relatório que já se encontra implementado na empresa.

Como conclusão é possível referir que o desenvolvimento do presente caso de estudo permitiu perceber e conceber diversas metodologias que auxiliam à gestão da manutenção. Em relação à empresa, espera-se que as medidas e metodologias apresentadas ajudem a melhorar a eficiência e organização das linhas de produção, bem como, auxiliem os responsáveis nas suas futuras decisões.

5.2 Trabalhos Futuros

Quanto a trabalhos futuros, propõe-se o desenvolvimento das seguintes atividades:

- Aplicação das metodologias seguidas no presente trabalho às restantes linhas de produção;
- Realização de estudos a outros tipos de paragem críticos, que não foram abordados;
- Análise de estratégias de manutenção adequadas a cada tipo de sistemas;
- Elaboração de uma base de dados para armazenamento da informação recolhida pelos relatórios de manutenção;
- Realização de novas análises tendo-se em contas as novas informações recolhidas.

Referências Bibliográficas

- [1] IPQ, “Terminologia da Manutenção”, Norma portuguesa NP EN 13306:2007;
- [2] J. Moubray, RCM-Íl Reliability-Centred Maintenance, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 2ª edição, 1997;
- [3] H. P. Carinhas, Sebenta de Manutenção e Segurança - Fiabilidade, Lisboa: Secção de Folhas - I.S.T. - Instituto Superior Técnico, Maio 2009;
- [4] R. Assis, Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Ativos Físicos, 2ª ed., Lisboa, Lidel-Edições Técnicas, Novembro 2014;
- [5] J.P. Rocha, Gestão da Manutenção, Textos de apoio da disciplina Gestão da Manutenção, ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa;
- [6] R. B. Abernethy, The new weibull Handbook, North Palm Beach, Florida, 2006;
- [7] Reliawiki - http://reliawiki.org/index.php/The_Weibull_Distribution, acedido a 02/09/2015;
- [8] M. Ben-Daya et al., Handbook of Maintenance Management and Engineering, London, Springer, 2009;
- [9] IPQ, “Aplicações ferroviárias – Especificação e demonstração de Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança (RAMS)”, Norma portuguesa NP EN 50126:2000;
- [10] V. Infante, Manutenção e Segurança, textos de apoio da disciplina Manutenção e Segurança, I.S.T.;
- [11] L.A. Ferreira, Uma Introdução à Manutenção, Publindústria, Edições Técnicas, Porto, 1ª edição, Março 1998;
- [12] J. S. Rocha, Gestão da Manutenção, textos de apoio da disciplina Gestão da Manutenção, I.S.E.L.;
- [13] R. Assis, Manutenção Centrada na Fiabilidade: Economia das Decisões, Lisboa: Lidel- Edições Técnicas, 1997;
- [14] F.Monchy, Maintenance – Méthodes et organisations, Dunod, Paris, 3ª edição, 2000;
- [15] Benbow et al., The Certified Reliability Engineer Handbook, ASQ Quality Press, 2009;
- [16] <http://www.weibull.com>, acedido a 06/09/2015;
- [17] Ferreira, Luís A.; “Projeto SITEM (Sistema Integrado de Engenharia e Gestão da Manutenção de Instalações e Equipamentos Industriais) RAMS - Reliability, Availability, Maintainability and Safety”, 2004
- [18] C.V. Pinto, Organização e Gestão da Manutenção, Monitor, 1ª edição, Setembro 1999;
- [19] J.P.S. Cabral, Organização e Gestão da Manutenção – dos conceitos à prática, Lidel- Edições Técnicas, Lisboa, 5ª edição, Outubro 2006;
- [20] Mishra, R.C., Reliability and Maintenance Engineering, New Age International (P) Ltd, New Delhi, 1ª edição, 2006;
- [21] NP 4483. Sistemas de Gestão da Manutenção, Requisitos. Instituto Português da Qualidade, 2008;
- [22] INAC Technical Information Document, “Maintenance Management Systems”, Outubro 2000;
- [23] IPQ, “ Sistemas de gestão ambiental”, Norma portuguesa NP EN ISO 14001:2004;

- [24] S. Nakajima, Introduction to Total Productive Maintenance, Productivity Press Inc., Cambridge, Productivity Press, 1988;
- [25] K. Mckone et al., TPM: Planned and autonomous maintenance – Bridging the gap between practice and research, Production and Operations Management, (1998);
- [26] D. McCarthy e N. Dr. Rich, Lean TPM - A Blueprint for Change, UK: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004;
- [27] F. Ireland e B. G. Dale, “A study of total productive maintenance implementation,” Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol.7, Issue3, pp. 183-191, 2001;
- [28] <http://www.Sidul.pt>, acedido a 25/06/2015;
- [29] <http://www.asr-group.com>, acedido a 25/06/2015;
- [30] P. Muchiri et al., Development of maintenance function performance measurement framework and indicators, Int. J. Production Economics 131 (2011) 295–302;
- [31] European Standard EN 15341 - Maintenance - Maintenance Key Performance Indicators, CEN, 2007;
- [32] R. Basu, Fit Sigma - A Lean Approach to Building Sustainable Quality Beyond Six Sigma, UK: John Wiley & Sons Ltd, 2011;

Anexos

Anexo A - Eficiência Global das Linhas de Produção

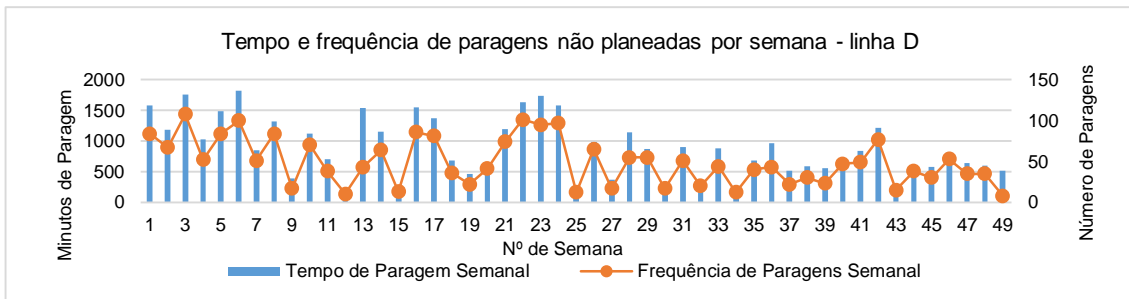
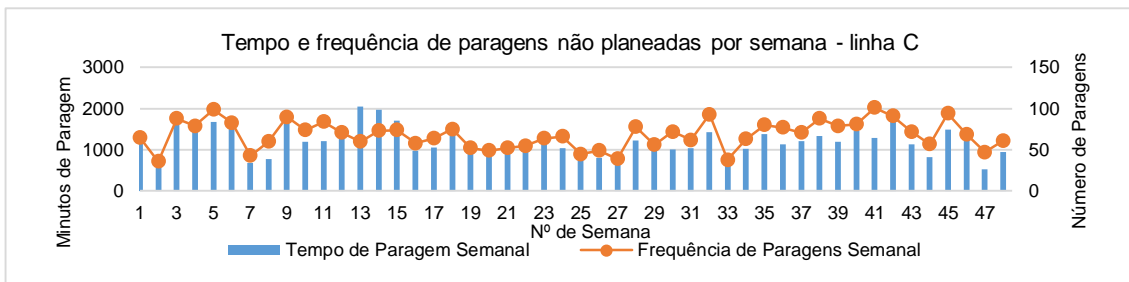
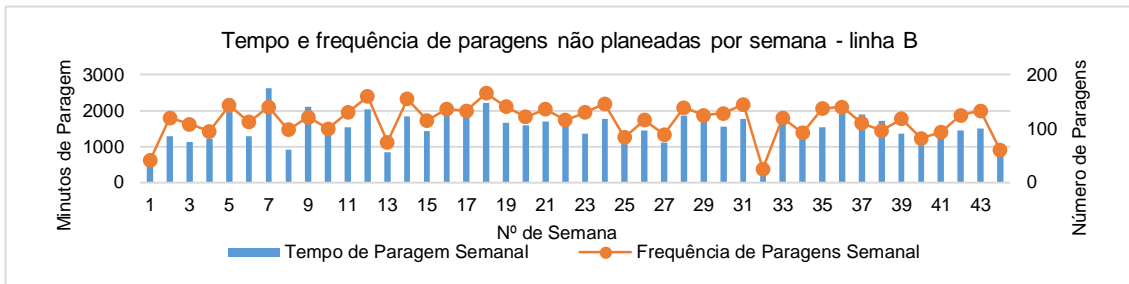
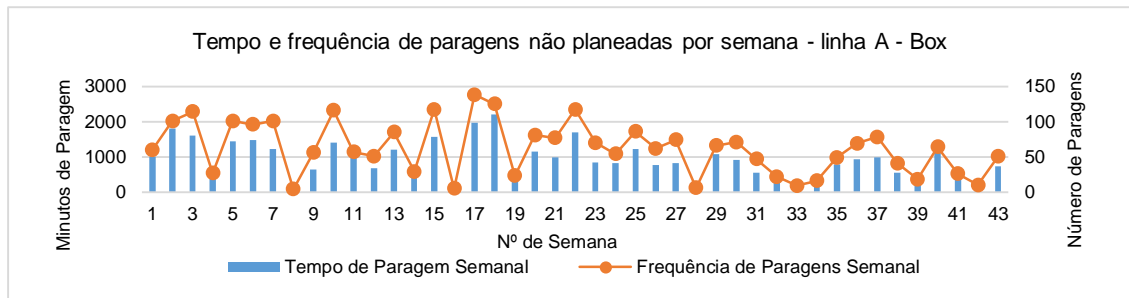
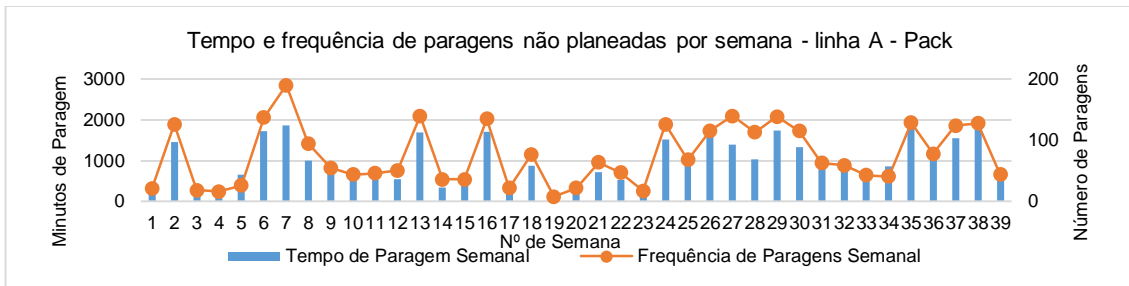
Tabela A.1 – Médias mensais e respectivos desvios padrão de OEE e subindicadores por linha.

Linha A - Packs	OEE	OEE (Sidul)	Disponibilidade	Disponibilidade (Sidul)	Rendimento	Qualidade
Média	43,76%	60,29%	52,11%	60,96%	84,14%	99,79%
Desvio Padrão	15,86%	5,19%	18,24%	11,97%	4,13%	0,11%
Linha A - Box						
Média	41,99%	65,52%	48,97%	63,82%	85,92%	99,79%
Desvio Padrão	15,48%	6,34%	16,17%	13,43%	5,84%	0,17%
Linha B						
Média	30,49%	56,61%	37,43%	58,04%	81,98%	99,38%
Desvio Padrão	9,66%	5,89%	11,22%	12,78%	3,89%	0,18%
Linha C						
Média	28,37%	55,28%	39,17%	63,25%	72,82%	99,45%
Desvio Padrão	8,99%	5,50%	12,94%	14,16%	4,80%	0,32%
Linha D						
Média	18,08%	59,46%	20,54%	55,93%	88,51%	99,44%
Desvio Padrão	8,14%	4,92%	8,40%	12,12%	6,41%	0,15%

Tabela A.2 – Indicadores interferência planejada (T6P) e não planejada (T5) por linha.

Linhas Indicadores	A - Packs	A - Box	B	C	D
Interferência Planeada (T6P)	62,61%	56,56%	43,47%	44,57%	22,78%
Interferência Não planejada (T5)	70,61%	76,27%	68,74%	76,37%	67,64%

Anexo B - Gráficos de Tempos e Frequências de Falhas por Semana de Operação



Anexo C - Classes e Tipos de Eventos de Paragem

Anexo C.A - Tipo de eventos de paragem da Classe “Máquina de Enchimento”

Tabela C.A.1 – Descrição de tipos de eventos de paragem da classe “Máquina de Enchimento” das linhas A – Packs, A – Box e B.

Classe Máquina de Enchimento (Linhas A – Packs, A – Box e B)			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Sistema alimentação do papel</i>	Mecanismos que asseguram a alimentação de papel de embalagem	Não	M1
<i>Lâminas circulares</i>	Sistema que realiza os cortes de construção de embalagem	Não	M2
<i>Cola fria - bomba</i>	Sistema que fornece a cola fria para os injetores quando necessário	Não	M3
<i>Cola fria - injetores</i>	Mecanismos que distribuem a cola pela embalagem	Não	M4
<i>Lâmina de 90º</i>	Sistema que realiza a separação do papel para uma embalagem	Não	M5
<i>Balanças</i>	Sistema de balanças de aferição e rejeição de peso	Não	M6
<i>Mesa alimentação/bomba vácuo</i>	Sistema que assegura que o papel adira à mesa de alimentação	Não	M7
<i>Formação do pacote - mandris</i>	Sistema onde a embalagem é construída	Não	M8
<i>Extrator</i>	Sistema que retira a embalagem do mandril de construção para a cabeça móvel	Não	M9
<i>Cabeça móvel</i>	Mecanismo que transfere a embalagem do mandril para o cadeado	Não	M10
<i>Cadeado</i>	Sistema de transporte ao longo da operação de enchimento	Não	M11
<i>Doseador principal</i>	Mecanismo de dosagem principal	Não	M12
<i>Doseador final</i>	Mecanismo de dosagem para afinação de peso	Não	M13
<i>Torre formação topo</i>	Conjunto onde se inicia as operações de selagem de embalagem	Não	M14
<i>Lâminas de topo</i>	Sistema de corte de excesso da embalagem	Não	M15
<i>Espátulas formação topo</i>	Sistema que executa as operações de fecho de topo	Não	M16
<i>Dobra de colagem</i>	Sistema que induz a dobra onde é aplicada a cola-quente de selagem	Não	M17
<i>Cola quente</i>	Sistema que fornece a cola quente de selagem	Não	M18
<i>Tapete de saída</i>	Sistema que transporta a embalagem pronta para o tapete divisor	Não	M19
<i>Tapete divisor</i>	Sistema que forma uma linha de embalagem em duas linhas paralelas	Não	M20
<i>Detetor metais</i>	Deteta a existência de materiais estranhos ao processo na embalagem	Não	M21
<i>Codificadora pacotes</i>	Sistema que codifica cada pacote produzido	Não	M22
<i>Mudança bobine papel</i>	Operação de mudança de bobine de papel para a embalagem	Sim	M23

Tabela C.A.2 – Descrição de tipos de eventos de paragem da classe “Máquina de Enchimento” da linha C.

Classe Máquina de Enchimento (Linha C)			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Sistema alimentação do papel</i>	Mecanismos que asseguram a alimentação de papel de embalagem	Não	M1
<i>Lâminas circulares</i>	Sistema que realiza os cortes de construção de embalagem	Não	M2
<i>Cola fria - bomba</i>	Sistema que fornece a cola fria para os injetores quando necessário	Não	M3
<i>Cola fria - injetores</i>	Mecanismos que distribuem a cola pela embalagem	Não	M4
<i>Lâmina de 90º</i>	Sistema que realiza a separa do papel para uma embalagem	Não	M5
<i>Formação do pacote - mandris</i>	Sistema onde a embalagem é construída	Não	M6
<i>Cadeado</i>	Sistema de transporte ao longo da operação de enchimento	Não	M7
<i>Doseador nº1</i>	Mecanismo de dosagem principal	Não	M8
<i>Doseador nº2</i>	Mecanismo de dosagem principal	Não	M9
<i>Balança 1</i>	Sistema de balanças de aferição e rejeição de peso	Não	M10
<i>Doseador nº3</i>	Mecanismo de dosagem para afinação de peso	Não	M11
<i>Torre formação topo</i>	Conjunto onde se inicia as operações de selagem de embalagem	Não	M12
<i>Lâminas de topo</i>	Sistema de corte de excesso da embalagem	Não	M13
<i>Dobra de colagem</i>	Sistema que induz a dobra onde é aplicada a cola-quente de selagem	Não	M14
<i>Calcador cola</i>	Sistema que finaliza a operação de fecho de topo	Não	M15
<i>Cola quente</i>	Sistema que fornece a cola quente de selagem	Não	M16
<i>Balança final</i>	Sistema de balança de rejeição de peso	Não	M17
<i>Tapete de saída</i>	Sistema que transporta a embalagem para o sistema de transferência	Não	M18
<i>Sistema de transferência</i>	Sistema que transporta a embalagem entre o tapete de saída e o tapete de alimentação grande da Paletizadora, passando pelo detetor de metais e codificadora de pacotes	Não	M19
<i>Detetor metais</i>	Deteta a existência de materiais estranhos ao processo na embalagem	Não	M20
<i>Codificadora pacotes</i>	Sistema que codifica cada pacote produzido	Não	M21
<i>Mudança bobine papel</i>	Operação de mudança de bobine de papel para a embalagem	Sim	M22

Tabela C.A.3 – Descrição de tipos de eventos de paragem da classe “Máquina de Enchimento” da linha D.

Classe Máquina de Enchimento (Linha D)			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Sistema alimentação filme</i>	Mecanismos que asseguram a alimentação de papel de embalagem	Não	M1
<i>Codificadora transf. Térmica</i>	Sistema que codifica cada pacote produzido	Não	M2
<i>Doseadora</i>	Mecanismo de dosagem principal	Não	M3
<i>Soldadura ar quente</i>	Sistema que solda as extremidades laterais do material de embalagem para construção de pacote	Não	M4
<i>Maxilas vp</i>	Mecanismo que solda o fundo de pacote	Não	M5
<i>Lâmina vp</i>	Mecanismo que separa as embalagens	Não	M6
<i>Resistências / teflons</i>	Operação de mudança de consumíveis de soldadura de pacote	Sim	M7
<i>Cadeado</i>	Sistema de transporte ao longo da operação de enchimento	Não	M8
<i>Soldadura bs</i>	Mecanismo que efetua a soldadura final do pacote	Não	M9
<i>Lâmina bs</i>	Mecanismo que corta o excesso de pacote	Não	M10
<i>Mudança bobine</i>	Operação de mudança de bobine de plástico para a embalagem	Sim	M11
<i>Etiquetadora topo</i>	Mecanismo que cola a etiqueta de fecho	Não	M12
<i>Tapete saída</i>	Sistema que transporta a embalagem para a Balança	Não	M13
<i>Detetor metais</i>	Deteta a existência de materiais estranhos ao processo na embalagem	Não	M14
<i>Balança ishida</i>	Sistema de balança de rejeição de peso	Não	M15
<i>Transportadores</i>	Sistema que transporta a embalagem para o tapete divisor	Não	M16
<i>Tapete divisor</i>	Sistema que forma uma linha de embalagem em duas linhas paralelas	Não	M17

Anexo C.B - Tipo de eventos de paragem da Classe “Aglomerador”

Tabela C.B.1 – Descrição de tipos de eventos de paragem da classe “Aglomeradora” da linhas A – Packs e B.

Classe Aglomeradora (Linhas A - Packs e B)			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Mudança bobine plástico</i>	Operação de mudança da bobine superior e/ou inferior de plástico a embalagem de packs de 10 unidades	Sim	A1
<i>Empurrador pneumático</i>	Sistema que aglomera duas filas de 5 pacotes e as transporta para o tapete transportador	Não	A2
<i>Tapete transportador</i>	Sistema que transporta os packs até à saída de um forno para contração da embalagem plástica	Não	A3
<i>Barra de soldadura</i>	Sistema que efetua a selagem/separação da embalagem de aglomerado de 10 pacotes	Não	A4

Tabela C.B.2 – Descrição de tipos de eventos de paragem da classe “Aglomeradora” da linha D.

Classe Aglomeradora (Linha D)			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Corrente de entrada</i>	Sistema que aglomera duas filas de 5 pacotes	Não	A1
<i>Tapete transportador</i>	Sistema que transporta os packs até à saída de um forno para contração da embalagem plástica	Não	A2
<i>Empurrador</i>	Sistema que transporta as filas de pacotes para o tapete transportador	Não	A3
<i>Barra soldadura</i>	Sistema que efetua a selagem/separação da embalagem de aglomerado de 10 pacotes	Não	A4
<i>Transportador 90º</i>	Sistema de transporte que é composto por uma curva de 90º	Não	A5
<i>Mudança bobine plástico</i>	Operação de mudança da bobine superior e/ou inferior de plástico a embalagem de packs de 10 unidades	Sim	A6

Anexo C.C - Tipo de eventos de paragem da Classe “Paletizadora”

Tabela C.C.1 – Descrição de tipos de eventos de paragem da classe “Paletizadora” da linhas A –Packs, B e D.

Classe Paletizadora (Linhas A Packs, B e D)			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Transportadores</i>	Sistema que transporta os packs do aglomerador para a Paletizadora	Não	P1
<i>Máquina de etiquetas (packs)</i>	Sistema que codifica cada pack produzido	Não	P2
<i>Agrupador</i>	Sistema que agrupa um conjunto de packs de forma ordenada para organização de fiada de packs	Não	P3
<i>Empurrador</i>	Sistema que transporta as fiadas para a plataforma	Não	P4
<i>Elevador</i>	Sistema que posiciona a plataforma nas diferentes alturas de fiada	Não	P5
<i>Plataforma</i>	Plataforma que serve de sustentação para cada fiada de packs	Não	P6
<i>Alimentador paletes</i>	Mecanismo que fornece as paletes de transporte	Não	P7

Tabela C.C.2 – Descrição de tipos de eventos de paragem da classe “Paletizadora” da linhas A –Box e C.

Classe Paletizadora (Linhas A Box e C)			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Tapete de alimentação (grande)</i>	Mecanismo que transporta os pacotes para o tapete de entrada	Não	P1
<i>Tapete de entrada</i>	Mecanismo que alinha e conduz os pacotes de 1kg para a paletizadora	Não	P2
<i>Empurrador</i>	Sistema que empurra as fiadas de pacotes para a área sucção	Não	P3
<i>Conformadores</i>	Sistema que efetua o ajuste final das fiadas de pacotes	Não	P4
<i>Cabeçais</i>	Sistema que transporta as fiadas de pacotes para o interior de cada uma das duas boxes de papel que formam uma palete através de sistema sucção	Não	P5
<i>Alimentador de cartões</i>	Sistema que fornece os cartões de separação de fiadas	Não	P6
<i>Transportadores</i>	Sistema que transposta a palete do interior da Paletizadora até à zona de extração	Não	P7

Anexo C.D - Tipo de eventos de paragem da Classe “Envolvedora”

Tabela C.D.1 – Descrição de tipos de eventos de paragem da classe “Envolvedora” da linhas A –Packs, B e D.

Classe Envolvedora (Linhas A Packs, B e D)			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Transportadores</i>	Mecanismo que transporta os pacotes para a envolvedora	Não	E1
<i>Porta bobine</i>	Sistema que suporta a bobine de filme plástico	Não	E2
<i>Braço rotativo</i>	Sistema que envolve a palete em filme plástico	Não	E3

Tabela C.D.2 – Descrição de tipos de eventos de paragem da classe “Envolvedora” da linhas A –Box e C.

Classe Envolvedora (Linha A Box e C)			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Transportadores</i>	Mecanismo que transporta os pacotes para a envolvedora	Não	E1
<i>Porta bobine</i>	Mecanismo de corte e suporte de bobine de filme plástico	Não	E2
<i>Anel</i>	Sistema que envolve a palete em filme plástico	Não	E3
<i>Elevador</i>	Sistema que auxilia o anel a envolver a palete, ajustando altura de filme plástico	Não	E4

Anexo C.E - Tipo de eventos de paragem da Classe “Geral”

Tabela C.E.1 – Descrição de tipos de eventos de paragem da classe “Geral” de todas as linhas.

Classe Geral (Todas as linhas)			
Componente/Motivo	Descrição	Expetável	Código ID
<i>Limpezas / preparação arranque</i>	Operação de limpeza e preparação de turno que excede o tempo planeado de 15 minutos ou evento de paragem para limpeza.	Não	G1
<i>Mudança marca / tipo</i>	Tempo de paragem relacionado com a mudança da marca ou tipo de açúcar a empacotar	Sim	G2
<i>Ar comprimido</i>	Tempo de paragem devido à falta no fornecimento de ar comprimido	Não	G3
<i>Energia elétrica</i>	Tempo de paragem devido à falta no fornecimento de eletricidade	Não	G4
<i>Falta de açúcar</i>	Tempo de paragem devido à falta no fornecimento de açúcar por parte de refinaria	Não	G5

Anexo D - Tempos e Frequências de Eventos de Paragem

Tabela D.1 – Tempos e frequências de eventos de paragem da linha A - Packs.

Linha A - Packs					
<i>Classes e tipos evento de paragem</i>	Tempo de paragem total (Min)	Frequência de eventos (Nº de eventos)	Tempo médio de paragem (Min)	Desvio padrão	Avaliação de Impacto
Máquina de enchimento - A	10960	842,0	13,0	7,9	
<i>Sistema alimentação do papel</i>	455	17	26,8	10,8	Médio
<i>Lâminas circulares</i>	0	0	0,0	0,0	Reduzido
<i>Cola fria - bomba</i>	0	0	0,0	0,0	Reduzido
<i>Cola fria - injetores</i>	120	14	8,6	4,2	Reduzido
<i>Lâmina de 90º</i>	950	45	21,1	16,5	Elevado
<i>Balanças</i>	80	3	26,7	0,4	Médio
<i>Mesa alimentação/bomba vácuo</i>	90	5	18,0	8,8	Reduzido
<i>Formação do pacote - mandris</i>	525	30	17,5	10,8	Médio
<i>Extrator</i>	175	13	13,5	5,1	Reduzido
<i>Cabeça móvel</i>	65	6	10,8	3,6	Reduzido
<i>Cadeado</i>	60	3	20,0	2,7	Médio
<i>Doseador principal</i>	40	2	20,0	3,2	Médio
<i>Doseador final</i>	130	3	43,3	3,3	Médio
<i>Torre formação topo</i>	380	21	18,1	6,6	Médio
<i>Lâminas de topo</i>	100	4	25,0	1,4	Médio
<i>Espátulas formação topo</i>	255	23	11,1	12,7	Médio
<i>Dobra de colagem</i>	135	5	27,0	8,0	Médio
<i>Cola quente</i>	600	25	24,0	7,0	Elevado
<i>Tapete de saída</i>	635	40	15,9	10,9	Médio
<i>Tapete divisor</i>	500	32	15,6	11,9	Médio
<i>Detetor metais</i>	45	5	9,0	2,5	Reduzido
<i>Codificadora pacotes</i>	2065	143	14,4	16,0	Médio
<i>Mudança bobine papel</i>	3555	403	8,8	14,7	Médio
Aglomeradora	7740	983	7,9	7,2	
<i>Mudança bobine plástico</i>	4175	809	5,2	9,8	Médio
<i>Empurrador pneumático</i>	1045	61	17,1	16,9	Médio
<i>Tapete transportador</i>	1190	48	24,8	12,8	Elevado
<i>Barra de soldadura</i>	1330	65	20,5	17,6	Elevado
Paletizadora	3530	198	17,8	11,8	
<i>Transportadores</i>	1440	74	19,5	27,4	Elevado
<i>Maquina etiquetas (packs)</i>	155	12	12,9	5,9	Reduzido
<i>Agrupador</i>	810	49	16,5	20,4	Médio
<i>Empurrador</i>	170	8	21,3	5,9	Médio
<i>Elevador</i>	385	15	25,7	5,3	Médio
<i>Plataforma</i>	255	18	14,2	7,8	Médio
<i>Alimentador paletes</i>	315	22	14,3	8,1	Médio
Envolvedora	1060	44	24,1	10,2	
<i>Transportadores</i>	240	11	21,8	7,6	Médio
<i>Porta bobine</i>	90	4	22,5	3,2	Médio
<i>Braço rotativo</i>	730	29	25,2	11,0	Elevado
Geral	14405	899	16,0	9,2	
<i>Limpezas / preparação arranque</i>	7600	530	14,3	49,9	Médio
<i>Mudança marca / tipo</i>	865	55	15,7	18,3	Médio
<i>Ar comprimido</i>	420	14	30,0	7,5	Médio
<i>Energia elétrica</i>	200	8	25,0	8,7	Médio
<i>Falta de açúcar</i>	5320	292	18,2	37,1	Elevado

Tabela D.2 – Tempos e frequências de eventos de paragem da linha A - Box.

Linha A - Box					
<i>Classes e tipos evento de paragem</i>	Tempo de paragem total (Min)	Frequência de eventos (Nº de eventos)	Tempo médio de paragem (Min)	Desvio padrão	Avaliação de Impacto
Máquina de enchimento - A	13405	1052	12,7	8,2	

<i>Sistema alimentação do papel</i>	605	29	20,9	10,3	Elevado
<i>Lâminas circulares</i>	0	0	0,0	0,0	Reduzido
<i>Cola fria - bomba</i>	0	0	0,0	0,0	Reduzido
<i>Cola fria - Injetores</i>	430	22	19,5	9,5	Elevado
<i>Lâmina de 90º</i>	1565	97	16,1	7,5	Médio
<i>Balanças</i>	180	14	12,9	6,8	Reduzido
<i>Mesa alimentação/bomba vácuo</i>	35	2	17,5	2,5	Reduzido
<i>Formação do pacote - mandris</i>	1035	54	19,2	15,3	Elevado
<i>Extrator</i>	340	21	16,2	11,8	Reduzido
<i>Cabeça móvel</i>	30	1	30,0	0,0	Médio
<i>Cadeado</i>	15	1	15,0	0,0	Reduzido
<i>Doseador principal</i>	85	4	21,3	8,8	Médio
<i>Doseador final</i>	140	7	20,0	5,6	Médio
<i>Torre formação topo</i>	300	17	17,6	8,6	Reduzido
<i>Lâminas de topo</i>	270	11	24,5	8,8	Médio
<i>Espátulas formação topo</i>	215	8	26,9	9,7	Médio
<i>Dobra de colagem</i>	55	3	18,3	2,4	Médio
<i>Cola quente</i>	395	17	23,2	9,1	Médio
<i>Tapete de saída</i>	1660	94	17,7	9,5	Elevado
<i>Tapete divisor</i>	60	4	15,0	5,0	Reduzido
<i>Detetor metais</i>	430	37	11,6	3,6	Médio
<i>Codificadora pacotes</i>	1455	118	12,3	3,2	Médio
<i>Mudança bobine papel</i>	4105	491	8,4	2,6	Médio
Paletizadora	5175	340	15,2	9,5	
<i>Tapete de alimentação (grande)</i>	515	31	16,6	11,2	Médio
<i>Tapete de entrada</i>	775	47	16,5	8,6	Médio
<i>Empurrador</i>	450	18	25,0	12,5	Médio
<i>Conformadores</i>	385	31	12,4	6,8	Médio
<i>Cabeçais</i>	2105	144	14,6	9,0	Médio
<i>Alimentador de cartões</i>	340	19	17,9	10,4	Médio
<i>Transportadores</i>	605	50	12,1	6,8	Médio
Envolvedora	2945	121	24,3	10,8	
<i>Transportadores</i>	460	24	19,2	10,4	Elevado
<i>Porta bobine</i>	325	12	27,1	11,6	Médio
<i>Anel</i>	2010	78	25,8	10,4	Elevado
<i>Elevador</i>	150	7	21,4	7,4	Médio
Geral	17185	1164	14,8	9,4	
<i>Limpezas / preparação arranque</i>	8535	675	12,6	6,3	Médio
<i>Mudança marca / tipo</i>	1215	82	14,8	9,0	Médio
<i>Ar comprimido</i>	520	22	23,6	11,2	Elevado
<i>Energia elétrica</i>	995	26	38,3	28,3	Elevado
<i>Falta de açúcar</i>	5920	359	16,5	8,3	Médio

Tabela D.3 – Tempos e frequências de eventos de paragem da linha B.

Linha B					
<i>Classes e tipos evento de paragem</i>	Tempo de paragem total (Min)	Frequência de eventos (Nº de eventos)	Tempo médio de paragem (Min)	Desvio padrão	Avaliação de Impacto
Máquina de enchimento - B	26815	1842	14,6	9,1	
<i>Sistema alimentação do papel</i>	970	72	13,5	9,0	Médio
<i>Lâminas circulares</i>	20	1	20,0	0,0	Médio
<i>Cola fria - bomba</i>	125	4	31,3	12,4	Médio
<i>Cola fria - Injetores</i>	1440	84	17,1	9,0	Médio
<i>Lâmina de 90º</i>	1365	66	20,7	11,5	Elevado
<i>Balanças</i>	2700	139	19,4	9,6	Elevado
<i>Mesa alimentação/bomba vácuo</i>	480	17	28,2	10,7	Médio
<i>Formação do pacote - mandris</i>	1140	64	17,8	8,3	Elevado
<i>Extrator</i>	1600	94	17,0	10,6	Médio
<i>Cabeça móvel</i>	135	10	13,5	10,7	Reduzido
<i>Cadeado</i>	585	22	26,6	10,4	Médio
<i>Doseador principal</i>	815	36	22,6	9,4	Médio
<i>Doseador final</i>	545	19	28,7	15,1	Médio
<i>Torre formação topo</i>	650	27	24,1	9,7	Médio
<i>Lâminas de topo</i>	380	16	23,8	12,5	Médio
<i>Espátulas formação topo</i>	1850	107	17,3	7,3	Médio
<i>Dobra de colagem</i>	750	39	19,2	8,8	Médio
<i>Cola quente</i>	1500	75	20,0	8,6	Elevado
<i>Tapete de saída</i>	1985	139	14,3	7,1	Médio
<i>Tapete divisor</i>	525	33	15,9	8,2	Reduzido
<i>Detetor metais</i>	220	14	15,7	6,4	Reduzido
<i>Codificadora pacotes</i>	1315	96	13,7	6,9	Médio
<i>Mudança bobine papel</i>	5720	668	8,6	1,8	Médio
Aglomeradora	12565	1615	7,8	7,4	
<i>Mudança bobine plástico</i>	6845	1351	5,1	0,4	Médio
<i>Empurrador pneumático</i>	900	40	22,5	12,3	Elevado
<i>Tapete transportador</i>	1855	80	23,2	9,6	Elevado
<i>Barra de soldadura</i>	2965	144	20,6	9,6	Elevado
Paletizadora	3465	257	13,5	7,3	
<i>Transportadores</i>	1415	102	13,9	7,7	Médio
<i>Maquina etiquetas (packs)</i>	225	22	10,2	4,0	Reduzido
<i>Agrupador</i>	945	73	12,9	6,2	Médio
<i>Empurrador</i>	25	3	8,3	4,7	Reduzido
<i>Elevador</i>	150	9	16,7	4,2	Reduzido
<i>Plataforma</i>	440	24	18,3	11,2	Médio
<i>Alimentador paletes</i>	265	24	11,0	3,1	Reduzido
Envolvedora	820	46	16,8	7,8	
<i>Transportadores</i>	155	12	12,9	3,7	Reduzido
<i>Porta bobine</i>	170	10	17,0	7,1	Reduzido
<i>Braço rotativo</i>	495	24	20,6	8,2	Médio
Geral	24520	1384	17,7	10,3	
<i>Limpezas / preparação arranque</i>	16235	1005	16,2	8,9	Médio
<i>Mudança marca / tipo</i>	825	67	12,3	4,2	Médio
<i>Ar comprimido</i>	1685	52	32,4	15,2	Elevado
<i>Energia elétrica</i>	915	30	30,5	7,5	Médio
<i>Falta de açúcar</i>	4860	230	21,1	11,5	Elevado

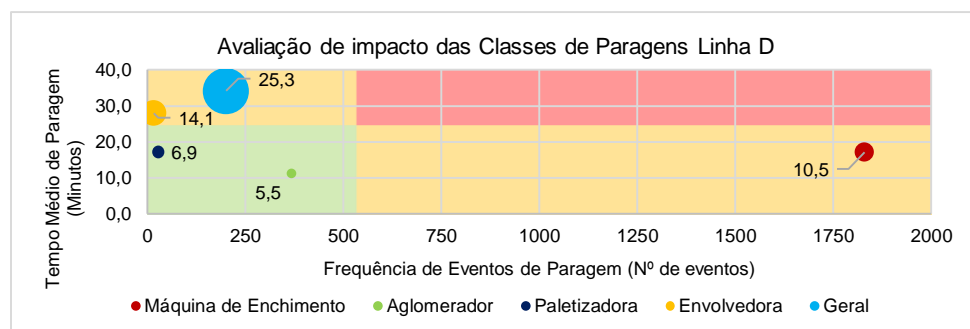
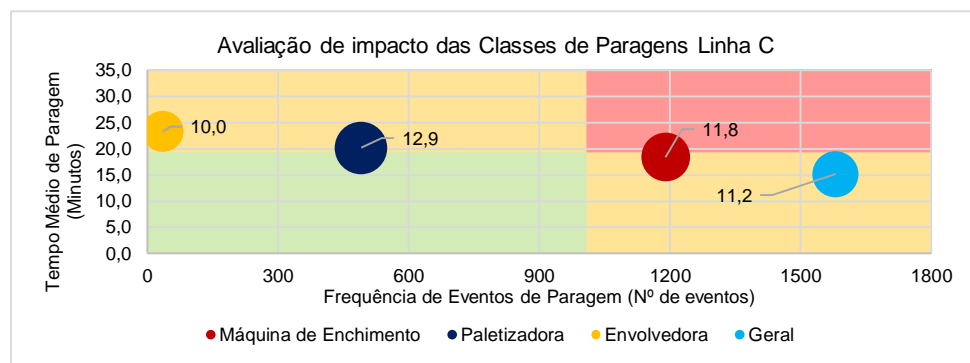
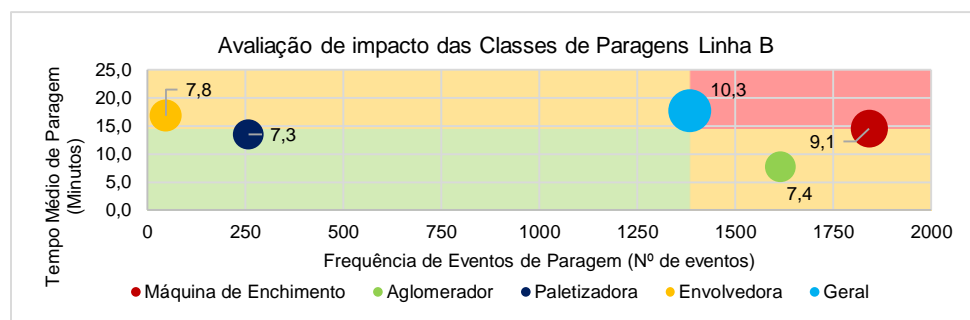
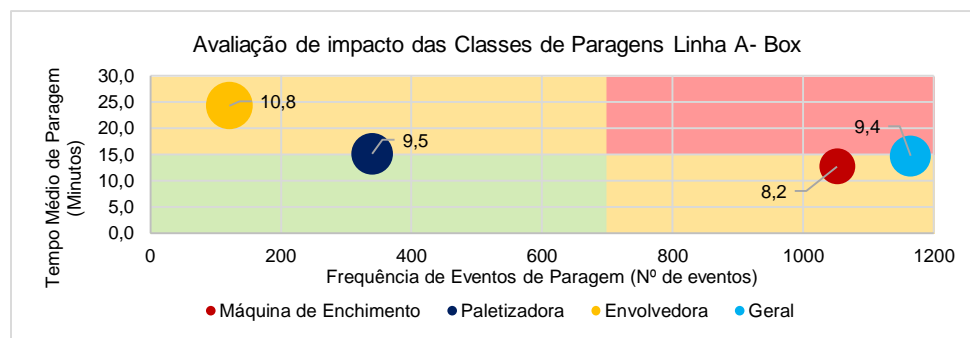
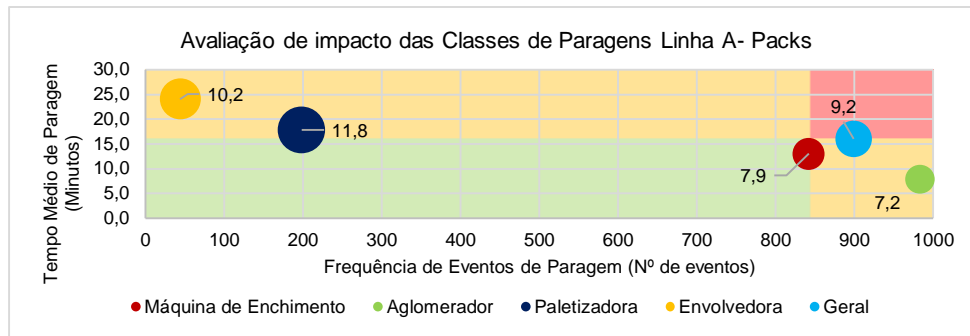
Tabela D.4 – Tempos e frequências de eventos de paragem da linha C.

Linha C					
<i>Classes e tipos evento de paragem</i>	Tempo de paragem total (Min)	Frequência de eventos (Nº de eventos)	Tempo médio de paragem (Min)	Desvio padrão	Avaliação de Impacto
Máquina de enchimento - C	21890	1190	18,4	11,8	
<i>Sistema alimentação do papel</i>	1820	92	19,8	10,3	Médio
<i>Lâminas circulares</i>	235	5	47,0	9,8	Médio
<i>Cola fria - bomba</i>	560	22	25,5	13,9	Médio
<i>Cola fria - Injetores</i>	1835	71	25,8	12,6	Elevado
<i>Lâmina de 90º</i>	1405	55	25,5	12,7	Elevado
<i>Formação do pacote - mandris</i>	2390	104	23,0	11,6	Médio
<i>Cadeado</i>	805	32	25,2	12,5	Médio
<i>Doseador nº1</i>	460	20	23,0	16,1	Médio
<i>Doseador nº2</i>	285	11	25,9	13,1	Médio
<i>Balança 1</i>	305	13	23,5	12,1	Médio
<i>Doseador nº3</i>	50	3	16,7	2,4	Reduzido
<i>Torre formação topo</i>	630	26	24,2	12,0	Médio
<i>Lâminas de topo</i>	685	20	34,3	27,2	Médio
<i>Dobragem de topo</i>	2375	101	23,5	10,2	Elevado
<i>Calçador cola</i>	560	23	24,3	9,9	Médio
<i>Cola quente</i>	930	38	24,5	12,2	Elevado
<i>Balança final</i>	50	4	12,5	4,3	Reduzido
<i>Tapete de saída</i>	280	13	21,5	12,6	Reduzido
<i>Sistema de transferência</i>	105	7	15,0	3,8	Reduzido
<i>Detetor metais</i>	740	43	17,2	10,0	Médio
<i>Codificadora pacotes</i>	850	53	16,0	7,0	Médio
<i>Mudança bobine papel</i>	4535	434	10,4	1,9	Médio
Paletizadora	9875	490	20,2	12,9	
<i>Tapete de alimentação (grande)</i>	1080	37	29,2	22,0	Elevado
<i>Tapete de entrada</i>	1660	88	18,9	11,3	Médio
<i>Empurrador</i>	1115	51	21,9	11,0	Médio
<i>Conformadores</i>	1170	63	18,6	8,4	Médio
<i>Cabeçais</i>	3140	160	19,6	11,6	Médio
<i>Alimentador de cartões</i>	715	36	19,9	8,9	Reduzido
<i>Transportadores</i>	995	55	18,1	15,5	Médio
Envolvedora	815	35	23,3	10,0	
<i>Transportadores</i>	475	20	23,8	6,3	Médio
<i>Porta bobine</i>	45	2	22,5	0,0	Reduzido
<i>Anel</i>	235	9	26,1	15,7	Médio
<i>Elevador</i>	60	4	15,0	6,1	Reduzido
Geral	23985	1580	15,2	11,2	
<i>Limpezas / preparação arranque</i>	19180	1419	13,5	7,2	Médio
<i>Mudança marca / tipo</i>	445	37	12,0	4,7	Médio
<i>Ar comprimido</i>	1985	47	42,2	25,7	Elevado
<i>Energia elétrica</i>	485	9	53,9	45,6	Médio
<i>Falta de açúcar</i>	1890	68	27,8	13,8	Elevado

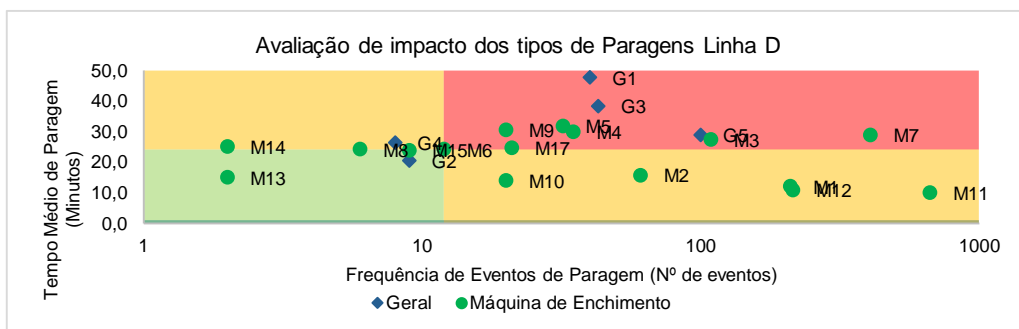
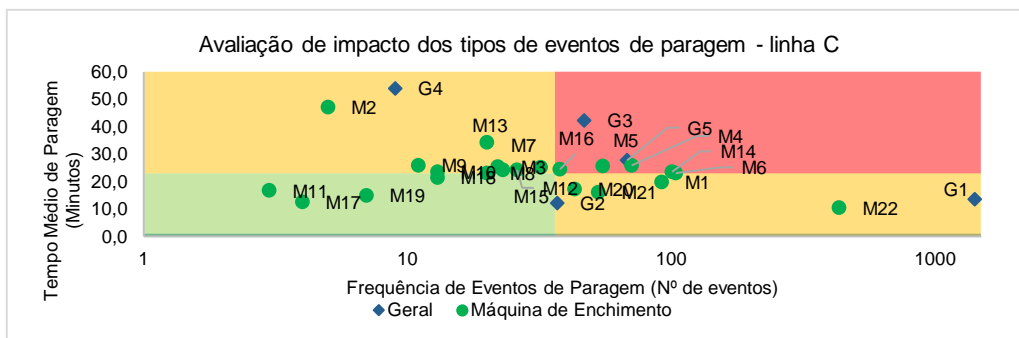
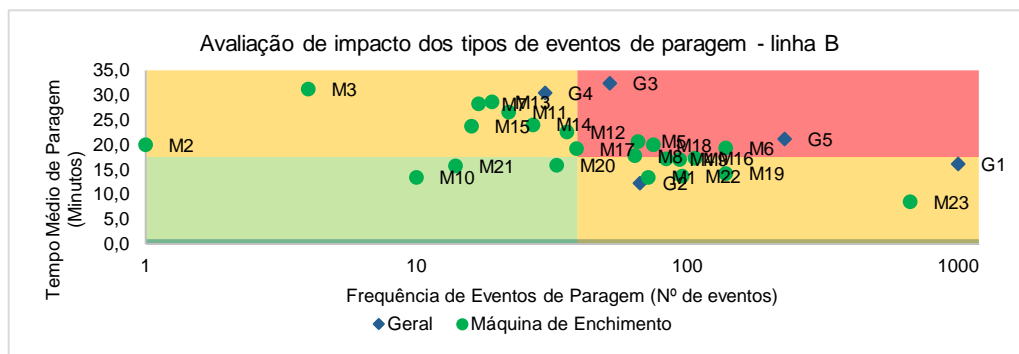
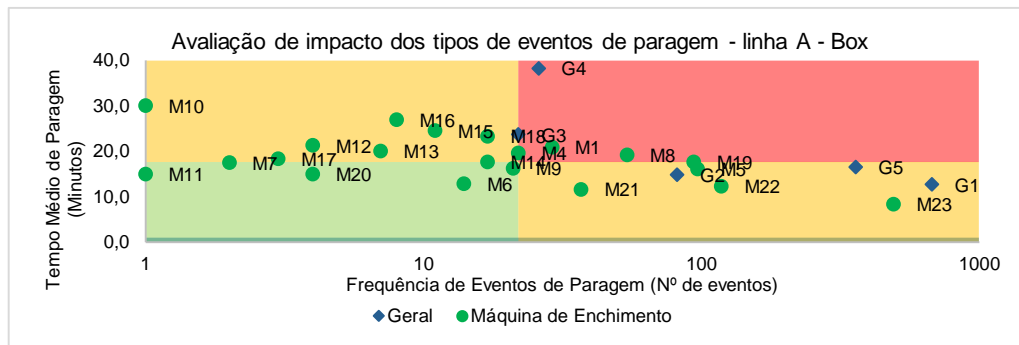
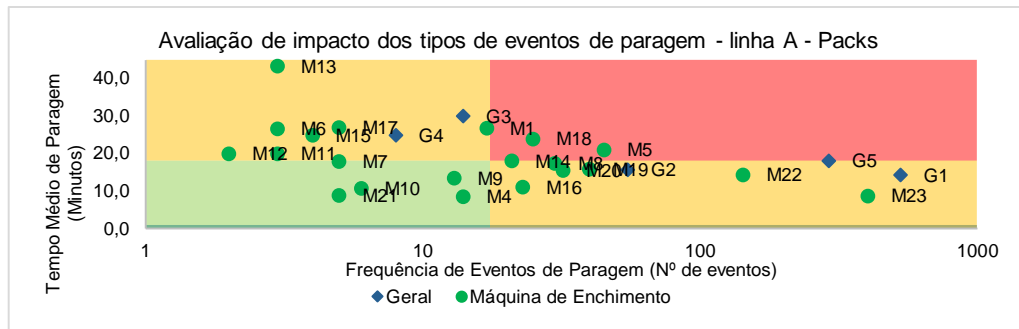
Tabela D.5 – Tempos e frequências de eventos de paragem da linha D.

Linha D					
<i>Classes e tipos evento de paragem</i>	Tempo de paragem total (Min)	Frequência de eventos (Nº de eventos)	Tempo médio de paragem (Min)	Desvio padrão	Avaliação de Impacto
Máquina de enchimento - D	31465	1829	17,2	10,5	
<i>Sistema alimentação filme</i>	2520	210	12,0	5,7	Médio
<i>Codificadora transf. Térmica</i>	960	61	15,7	11,9	Médio
<i>Doseadora</i>	2985	109	27,4	9,4	Elevado
<i>Soldadura ar quente</i>	1050	35	30,0	10,9	Elevado
<i>Maxilas vp</i>	1015	32	31,7	15,2	Elevado
<i>Lâmina vp</i>	290	12	24,2	14,1	Elevado
<i>Resistências / teflons</i>	11775	408	28,9	5,7	Elevado
<i>Cadeado</i>	145	6	24,2	6,1	Médio
<i>Soldadura bs</i>	610	20	30,5	15,1	Elevado
<i>Lâmina bs</i>	280	20	14,0	7,3	Médio
<i>Mudança bobine</i>	6700	667	10,0	0,7	Médio
<i>Etiquetadora de topo</i>	2320	215	10,8	2,9	Médio
<i>Tapete saída</i>	30	2	15,0	5,0	Reduzido
<i>Detetor metais</i>	50	2	25,0	0,0	Médio
<i>Balança Ishida</i>	215	9	23,9	6,7	Reduzido
<i>Transportadores</i>	0	0	0,0	0,0	Reduzido
<i>Divisor</i>	520	21	24,8	16,7	Elevado
Agglomeradora	4120	367	11,2	5,5	
<i>Corrente de entrada</i>	120	2	60,0	0,0	Médio
<i>Tapete</i>	315	12	26,3	10,5	Elevado
<i>Empurrador</i>	25	2	12,5	0,0	Reduzido
<i>Barra soldadura</i>	180	8	22,5	6,4	Reduzido
<i>Transportador 90º</i>	60	3	20,0	0,0	Reduzido
<i>Mudança bobine</i>	3420	340	10,1	0,8	Médio
Paletizadora	465	27	17,2	6,9	
<i>Transportadores</i>	425	25	17,0	7,0	Médio
<i>Maquina etiquetas (packs)</i>	0	0	0,0	0,0	Reduzido
<i>Agrupador</i>	15	1	15,0	0,0	Reduzido
<i>Empurrador</i>	0	0	0,0	0,0	Reduzido
<i>Elevador</i>	0	0	0,0	0,0	Reduzido
<i>Plataforma</i>	0	0	0,0	0,0	Médio
<i>Alimentador paletes</i>	25	1	25,0	0,0	
Envolvedora	420	15	28,0	14,1	Médio
<i>Transportadores</i>	140	3	46,7	18,9	Reduzido
<i>Porta bobine</i>	105	5	21,0	5,6	Médio
<i>Braço rotativo</i>	175	7	25,0	7,6	
Geral	6830	200	34,2	25,3	Elevado
<i>Limpezas / preparação arranque</i>	1905	40	47,6	47,6	Reduzido
<i>Mudança marca / tipo</i>	185	9	20,6	6,0	Elevado
<i>Ar comprimido</i>	1645	43	38,3	12,2	Médio
<i>Energia elétrica</i>	210	8	26,3	9,1	Elevado
<i>Falta de açúcar</i>	2885	100	28,9	13,2	Médio

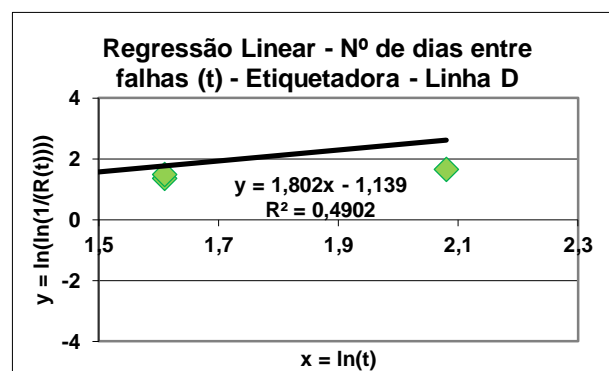
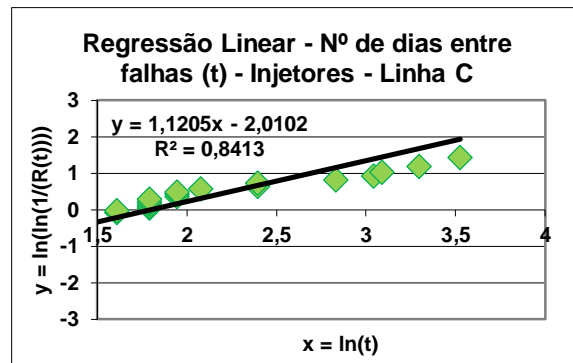
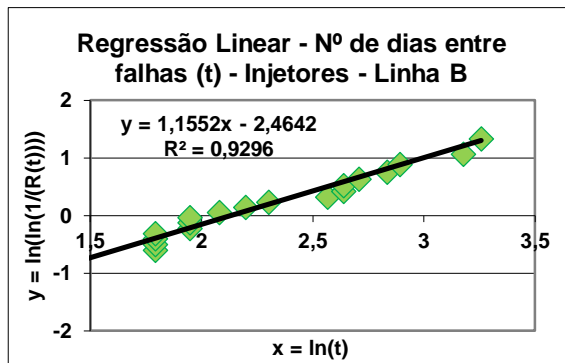
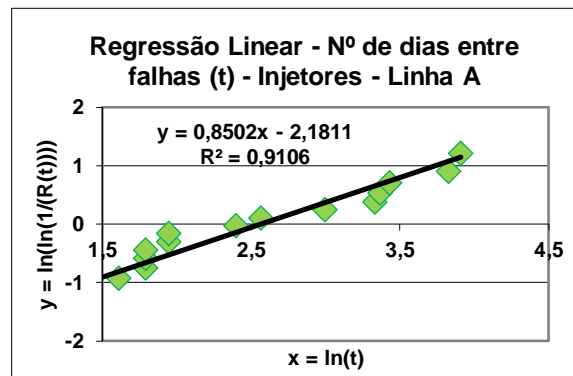
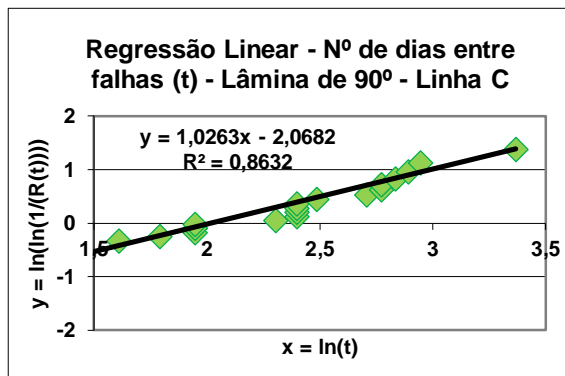
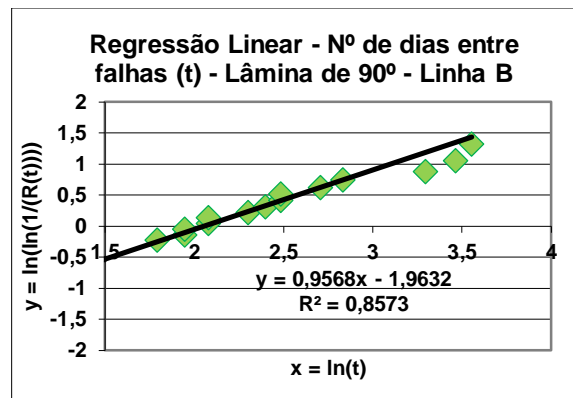
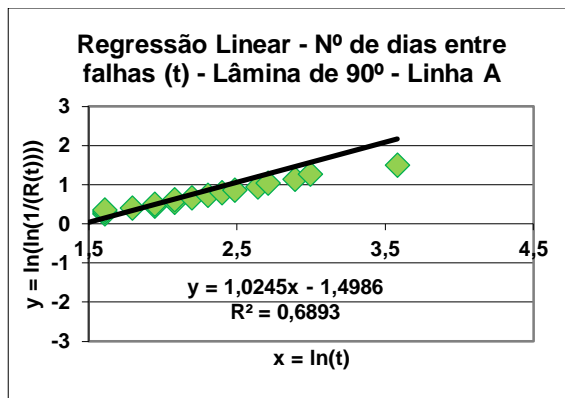
Anexo E - Avaliação de Impacto das Classes de Paragem



Anexo F - Avaliação de Impacto dos Tipos de Eventos de Paragem

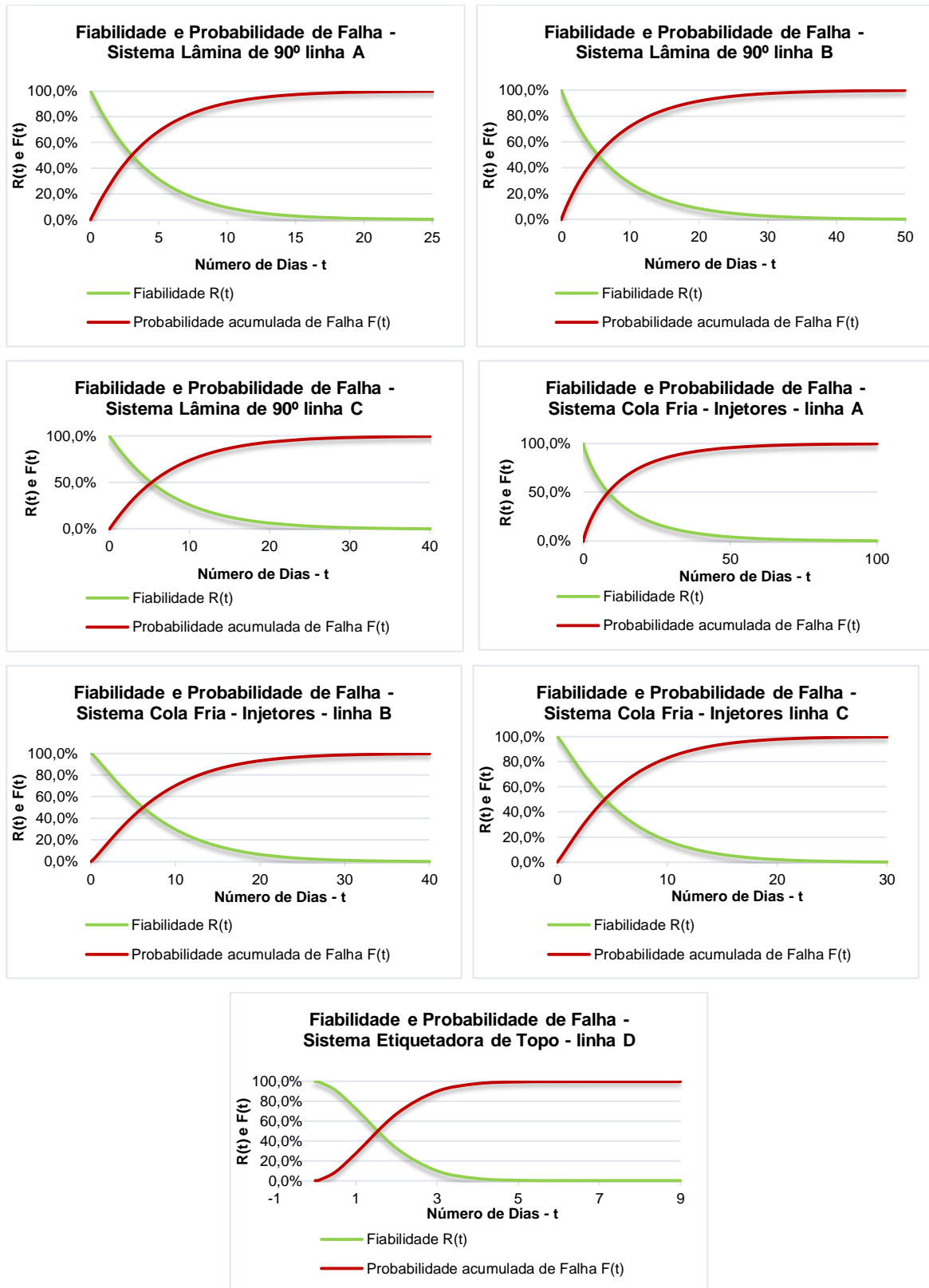


Anexo G - Regressão Linear para Estimativa dos Parâmetros da Distribuição de Weibull

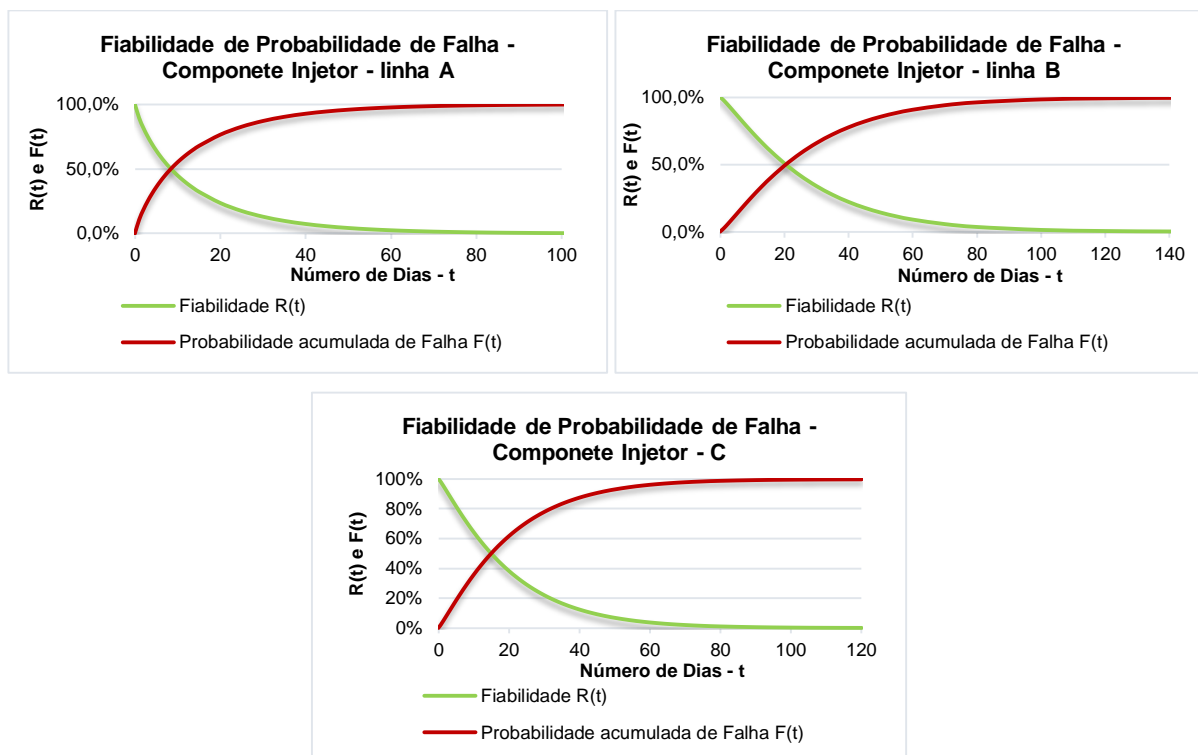


Anexo H - Fiabilidade e Probabilidade Acumulada de Falha

Anexo H.A - Representação Gráfica das Funções - Sistemas



Anexo H.B - Representação Gráfica das Funções - Componente Injetor



Anexo H.C - Fiabilidade e Probabilidade de Falha por Dias de Missão

Tabelas H.C.1 – Fiabilidade e Probabilidade de Falha por Dias de Missão do Sistema Lâmina de 90°.

Linha A - Lâmina de 90°		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t)	Probabilidade acumulada de Falha F(t)
1	80,0%	20,0%
2	63,5%	36,5%
3	50,2%	49,8%
4	39,7%	60,3%
5	31,3%	68,7%
6	24,6%	75,4%
7	19,4%	80,6%
8	15,2%	84,8%
9	12,0%	88,0%
10	9,4%	90,6%
15	2,8%	97,2%
25	0,2%	99,8%

Linha B – Lâmina de 90°		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t)	Probabilidade acumulada de Falha F(t)
1	86,9%	13,1%
2	76,1%	23,9%
3	66,9%	33,1%
4	58,9%	41,1%
5	51,9%	48,1%
6	45,9%	54,1%
7	40,5%	59,5%
8	35,8%	64,2%
9	31,7%	68,3%
10	28,1%	71,9%
15	15,4%	84,6%
20	8,5%	91,5%
30	2,6%	97,4%
50	0,3%	99,7%

Linha C – Lâmina de 90º		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t)	Probabilidade acumulada de Falha F(t)
1	88,1%	11,9%
2	77,3%	22,7%
3	67,7%	32,3%
4	59,2%	40,8%
5	51,7%	48,3%
6	45,2%	54,8%
7	39,4%	60,6%
8	34,4%	65,6%
9	30,0%	70,0%
10	26,1%	73,9%
15	13,1%	86,9%
20	6,5%	93,5%
40	0,4%	99,6%

Tabelas H.C.2 – Fiabilidade e Probabilidade de Falha por Dias de Missão do Sistema Cola Fria - Injetores.

Linha A - Cola Fria - Injetores		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t)	Probabilidade acumulada de Falha F(t)
1	89,3%	10,7%
2	81,6%	18,4%
3	75,0%	25,0%
4	69,3%	30,7%
5	64,2%	35,8%
6	59,6%	40,4%
7	55,4%	44,6%
8	51,6%	48,4%
9	48,1%	51,9%
10	44,9%	55,1%
15	32,3%	67,7%
20	23,7%	76,3%
30	13,1%	86,9%
50	4,3%	95,7%
100	0,3%	99,7%

Linha B - Cola Fria - Injetores		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t)	Probabilidade acumulada de Falha F(t)
1	91,8%	8,2%
2	82,7%	17,3%
3	73,9%	26,1%
4	65,6%	34,4%
5	57,9%	42,1%
6	51,0%	49,0%
7	44,7%	55,3%
8	39,1%	60,9%
9	34,1%	65,9%
10	29,6%	70,4%
15	14,3%	85,7%
20	6,7%	93,3%
40	0,2%	99,8%

Linha C - Cola Fria - Injetores		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t)	Probabilidade acumulada de Falha F(t)
1	87,5%	12,5%
2	74,7%	25,3%
3	63,2%	36,8%
4	53,1%	46,9%
5	44,3%	55,7%
6	36,9%	63,1%
7	30,6%	69,4%
8	25,2%	74,8%
9	20,8%	79,2%
10	17,1%	82,9%
15	6,2%	93,8%
30	0,2%	99,8%

Tabela H.C.3 – Fiabilidade e Probabilidade de Falha por Dias de Missão do Sistema Etiquetadora de Topo.

Linha D – Etiquetadora de Topo		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t)	Probabilidade acumulada de Falha F(t)
1	72,6%	27,4%
2	32,7%	67,3%
3	9,8%	90,2%
4	2,0%	98,0%
5	0,3%	99,7%

Tabela H.C.4 – Fiabilidade e Probabilidade de Falha por Dias de Missão do Componente Injetor.

Linha A – Componente Injetor		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t)	Probabilidade acumulada de Falha F(t)
1	89,3%	10,7%
2	81,6%	18,4%
3	75,0%	25,0%
4	69,3%	30,7%
6	59,6%	40,4%
8	51,6%	48,4%
10	44,9%	55,1%
15	32,3%	67,7%
20	23,7%	76,3%
30	13,1%	86,9%
40	7,4%	92,6%
50	4,3%	95,7%
75	1,2%	98,8%
100	0,3%	99,7%

Linha B - Componente Injetor		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t)	Probabilidade acumulada de Falha F(t)
1	97,9%	2,1%
2	95,4%	4,6%
4	90,0%	10,0%
6	84,5%	15,5%
8	79,1%	20,9%
10	73,8%	26,2%
15	61,5%	38,5%
20	50,8%	49,2%
30	33,9%	66,1%
40	22,1%	77,9%
50	14,2%	85,8%
60	9,0%	91,0%
80	3,5%	96,5%
100	1,3%	98,7%
140	0,2%	99,8%

Linha C - Componente Injetor		
Nº de Dias de Missão	Fiabilidade R(t)	Probabilidade acumulada de Falha F(t)
1	96,7%	3,3%
2	93,0%	7,0%
4	85,4%	14,6%
6	77,9%	22,1%
8	70,9%	29,1%
10	64,3%	35,7%
15	49,8%	50,2%
20	38,3%	61,7%
30	22,0%	78,0%
40	12,4%	87,6%
50	6,8%	93,2%
70	2,0%	98,0%
90	0,6%	99,4%
120	0,1%	99,9%

Anexo I - Histogramas TBF (*Time Between Failures*)



Anexo J - Procedimentos de Reparação

Anexo J.A - Lâmina de 90° - Máquinas A e B


Procedimento de Afinação/Substituição Página nº 1	Lâmina de 90°	Máquinas: A e B	Realizado a: ___/___/___ Revisto: ___/___/___
Ordem	Procedimentos		Caso
1	Desengatar molas de tração no apoio transversal e desapertar os parafusos sextavados (1) e (2) da figura.		Substituição
2	Colocar Lâmina Fixa (3) e apertar ligeiramente os parafusos (1), empurrar a Lâmina fixa contra os batentes (4).		Substituição
3	Colocar Lâmina Móvel (5) e apertar os parafusos (2), voltar a engatar as molas de tração no apoio transversal e verificar funcionamento.		Substituição
4	Recorrendo a um Esquadro posicionar a Lâmina Móvel a 90° com a vertical (Posição inicial de corte, afinada com rampa do rolamento).		Afinação

Procedimento de Afinação/Substituição Página nº 2	Lâmina de 90°	Máquinas: A e B	Realizado a: ___/___/___ Revisto: ___/___/___
	Ordem	Procedimentos	Caso
	5	Deixar uma folga inicial entre a Lâmina Fixa e a Móvel (1) cerca de 0,1 a 0,3 milímetros.	Afinação
	6	Ter em atenção para não existir contacto entre a Lâmina Móvel e Fixa.	Afinação
	7	Posicionar a Lâmina Fixa de acordo com a imagem com um desfasamento longitudinal de cerca de 0,1° a 0,4° com Lâmina Móvel, que corresponde a uma abertura cerca de 1 a 4 milímetros.	Afinação
	8	Ter em atenção quando se trata de uma substituição deve-se posicionar a Lâmina Fixa com a abertura mínima descrita no ponto 7, sendo que a afinação do corte é controlado pela abertura até um angulo máximo de cerca de 0,4° ou correspondentes 4mm de abertura.	Afinação

Procedimento de Afinação/Substituição Página nº 3		Lâmina de 90°	Máquinas: A e B	Realizado a: ___/___/___ Revisto: ___/___/___
Ordem	Procedimentos			Caso
9	Ajustar a Lâmina Móvel de modo a iniciar o corte a cerca de 15 a 20 milímetros de entrar em contacto com o papel, na zona (1) da figura.			Afinação
10	Ajustar a Lâmina Móvel de modo a que o fim do corte coincidir com o fim do fio da Lâmina Fixa, na zona (2) da figura.			Afinação
11	Nos Terminais de fixação da lâmina móvel deve-se ter atenção em dividir de igual forma a amplitude do movimento, ou seja, a rotação efetuada pelo terminal deve ter uma componente positiva igual á componente negativa do movimento, sendo que a meio do movimento temos um ponto 0, como representado na zona (3) da figura.			Afinação
12	Deve-se ter em atenção em deixar os terminais de fixação simétricos.			Afinação

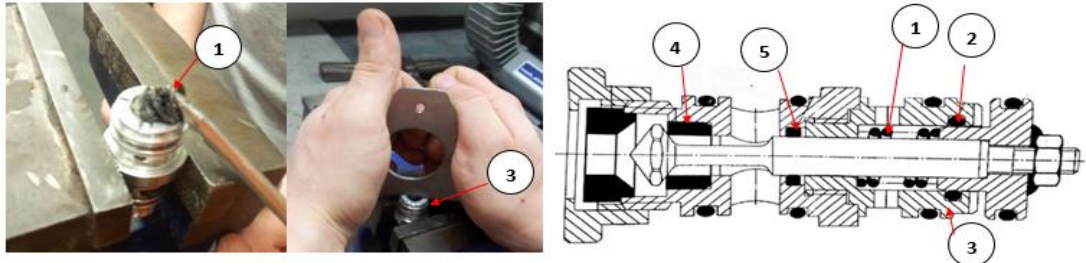
Anexo J.B - Lâmina de 90° - Máquina C

Procedimento de Afinação/Substituição Página nº 1		Lâmina de 90°	Máquina: C	Realizado a: ___/___/___ Revisto: ___/___/___
Ordem	Procedimentos			Caso
1	Retirar conjunto da lâmina fixa (1) e removendo todas a fixações do suporte (2).			Substituição
2	Desengatar molas de tração (3) e desapertar os parafusos sextavados (4) e retirar pernos do suporte da lâmina móvel (5).			Substituição
3	Depois de removidos os conjuntos substitui-se as repetitivas lâminas, recorrendo ao desaperto dos parafusos de fixação das mesmas (6).			Substituição

Procedimento de Afinação/Substituição Página nº 1	Lâmina de 90°	Máquina: C	Realizado a: ___/___/___ Revisto: ___/___/___
			
Ordem	Procedimentos	Caso	
4	Depois de substituídas as lâminas voltar a montar os conjuntos. Montando inicialmente o conjunto móvel e depois o fixo.	Substituição	
5	Para proceder à afinação da lâmina móvel, deve colocar inicialmente o parafuso de regulação (1) da altura do rolamento (2) e o parafuso (3) mais baixo possível. Posteriormente deve-se garantir a perpendicularidade da lâmina móvel em relação à fixa recorrendo ao parafuso (1).	Afinação	
6	De modo a completar a afinação verifica-se o corte tendo sempre em atenção que a lâmina móvel não de entrar em contacto com a lâmina fixa. Deve-se apenas recorrer à regulação do parafuso (3) quando não existe ajuste com a regulação do parafuso (1). <i>Nota: Deve sempre garantir que as lâminas não estão em contacto.</i>	Afinação	

Anexo J.C - Cola Fria - Injetores

Procedimento de Reparação Página nº 1	Injetores Cola-Fria	Máquinas: A, B e C	Realizado a: ___/___/___ Revisto: ___/___/___
			
Ordem	Procedimentos	Caso	
1	Limpar Injetor/electroválvula com papel.	Desmontagem	
2	Proceder à separação do Injetor da electroválvula recorrendo a papel e um alicate de modo a não danificar os componentes (1).	Desmontagem	
3	Limpar Injetor e proceder à separação do sistema de fixação da agulha, desapertar a porca freada (2), retirar o topo (3) e a agulha (4).	Desmontagem	
4	Retirar O-rings exteriores do corpo do Injetor (5).	Desmontagem	
5	Proceder à limpeza do corpo, topo e agulha (verificar estado da agulha, caso necessário com lixa de granulometria fina suavizar zona (6)).	Desmontagem	

Procedimento de Reparação Página nº 2	Injetores Cola-Fria	Máquinas: A, B e C	Realizado a: ___/___/___ Revisto: ___/___/___
			
Ordem	Procedimentos	Caso	
6	Retirar a mola de compressão (1) e desapertar o castelo (3), retirar O-rings internos (2) e (5).	Desmontagem	
7	Recorrendo a ajuda de um parafuso retire o teflon de suporte da agulha (4), limpar interior do corpo e castelo.	Desmontagem	
8	Depois dos componentes limpos e recorrendo ao kit de reparação substitui-se o teflon de suporte da agulha (4).	Montagem	
9	De modo substituir e O-ring interno (5) do corpo do Injetor, deve-se colocar a agulha e posicionar o O-ring (5) apertando o castelo ao corpo do Injetor.	Montagem	
10	Retirar novamente a agulha e voltar a apertar o castelo. Colocar nova mola de compressão (1), O-ring (2) e agulha.	Montagem	

Data de início:		Linha C															Relatório de Tarefas			Assinatura de Recepção					
Data de fim:																									
Tarefas de início de Turno		Segunda			Terça			Quarta			Quinta			Sexta			Sábado			Domingo					
		00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24
Testar Detector de metais																									
Verificar/reabastecer nível de cola-quente.																									
Limpeza da cola quente do anílico																									
Limpeza do açúcar na zona das balanças																									
Verificar/Repor cola-fria para o turno																									
Limpeza do segmento de cola (utilizar palheta)																									
Limpeza do conjunto de lâminas de corte																									
Limpeza de cola na lâmina de 90º/espátulas de fundo																									
Limpeza de Mandris e copos da cabeça móvel																									
Limpeza espátulas de topo se existir vestígios de cola																									
Verificar ar comprimido alimentação papel (+3 bar)																									
Verificar ar comprimido da bomba principal (+4 bar)																									
Verificar código no pacote (centrado na lateral)																									
Verificar e ajustar as margens do pacote (a cola deve estar a cerca de 1 ou 2mm da margem)																									
Tempo de Execução																									
Tarefas de Fim de Turno																									
Limpeza mínima da máquina (minimizar açúcar caído dentro da máquina)																									
Despejar aparas dos pacotes																									
Apanhar pacotes vazios dentro e fora da máquina																									
Limpeza de Envolvente																									
Tempo de Execução																									
Assinatura de operador																									
Assinatura de Chefe de Turno																									
Observações (se necessário colocar no verso da folha com identificação/dia/turno)																									

Data de início:		Linha D															Relatório de Tarefas			Assinatura de Recepção					
Data de fim:																									
Tarefas de início de Turno		Segunda			Terça			Quarta			Quinta			Sexta			Sábado			Domingo					
		00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24
Fazer teste de Detector de Metais																									
Mudar Teflon's																									
Verificar o funcionamento de toda a linha																									
Fazer ponto zero da balança																									
Puxar Plástico e verificar soldaduras																									
Verificar Consumíveis (Plástico, etiquetas, etc.)																									
Tempo de Execução																									
Tarefas de Fim de Turno																									
Deixar tabuleiro e doseador vazios																									
Limpeza da zona do doseador																									
Apanhar pacotes vazios dentro e fora da máquina																									
Limpeza de plásticos e apêndices																									
Tempo de Execução																									
Assinatura de operador																									
Assinatura de Chefe de Turno																									
Observações (se necessário colocar no verso da folha com identificação/dia/turno)																									

Data de início:		Paletizadoras												Relatório de Tarefas		Assinatura de Recepção						
Data de fim:		Segunda			Terça			Quarta			Quinta			Sexta			Sábado		Domingo			
Tarefas de início de Turno		00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24
Colocar contadores das paletizadoras a Zeros																						
Verificar se existem talões nas codificadoras de Packs de 10 und.																						
Verificar filme das Envolvedoras																						
Verificar Cartões das paletes de Sacos																						
Verificar Talões das paletizadoras e Químicos																						
Verificar as bobines de papel para as máquinas de empacotamento																						
Tempo de Execução																						
Tarefas de Fim de Turno																						
Verificar contagens e contadores																						
Verificar fardos (durante o turno contar com ajuda do chefe de turno)																						
Verificar se existem pacotes caídos, se sim devem ser retirados																						
Tempo de Execução																						
Assinatura de operador																						
Assinatura de Chefe de Turno																						
Observações (se necessário colocar no verso da folha com identificação/dia/turno)																						

Data de início:		Paletizadora VM												Relatório de Tarefas		Assinatura de Recepção						
Data de fim:		Segunda			Terça			Quarta			Quinta			Sexta			Sábado		Domingo			
Tarefas de início de Turno		00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24	00-08	08-16	16-24
Preparar materiais de produção (caixas, placas, etc.)																						
Construir caixas para o arranque																						
Carregamento de Paletes																						
Limpeza de açúcar por abaixo do tapete de entrada da VM																						
Limpeza da base de encosto dos pacotes no início do tapete de entrada																						
Limpeza ou substituir (se necessário) teflon da base no início do tapete de entrada																						
Tempo de Execução																						
Tarefas de Fim de Turno																						
Deixar a área de trabalho organizada para o turno seguinte																						
Apanhar pacotes caídos dentro e fora da VM																						
Verificar se a ultima paleta é envolvida e colar talão																						
Tempo de Execução																						
Assinatura de operador																						
Assinatura de Chefe de Turno																						
Observações (se necessário colocar no verso da folha com identificação/dia/turno)																						

Anexo L - Relatório de Intervenções de Manutenção



Relatório de Manutenção

Linha: _____ Equipamento ou zona: _____

Tipo de Manutenção: Corretiva Preventiva Melhoria

Início da avaria: __/__/__ ____:____

Início de intervenção __/__/__ ____:____

Descrição do Serviço ou Anomalia		
Órgãos ou componentes envolvidos:		
Sintomas	Causa	
Inoperacionalidade	Manutenção inapropriada	
Folga/desaperto	Desgaste	
Produtos defeituosos	Falha humana/má operação	
Sujidade	Material	
Fuga	Acidente	
Vibração/ruído	Causa segunda	
Fratura	Indeterminada	
Intervenções	Ações Futuras	
Ajustado/afinado	A ajustar/afinar	
Reparado	A reparar	
Reparado provisório	A vigiar	
Substituído	A substituir	
Modificado	A modificar	
Limpo	A limpar	
Componentes Substituídos		
Quantidade	Designação	Código

Obs:

Ficou reparada: Não Entrega de trabalho: __/__/__ ____:____

Assinatura dos Responsáveis: _____

Sim Fim da avaria: __/__/__ ____:____

Assinatura dos Responsáveis: _____