



Projeto

Mestrado em Engenharia Mecânica Produção Industrial

Tecnologias Aplicadas à Manutenção Preventiva

João Miguel Susano de Faria

Leiria, *Setembro* de 2016



Projeto

Mestrado em Engenharia Mecânica Produção Industrial

Tecnologias Aplicadas à Manutenção Preventiva

João Miguel Susano de Faria

Projeto de Mestrado realizado sob a orientação do Professor Doutor Jorge Siopa, professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do Professor Doutor Fernando Batista, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Setembro* de 2016

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Dedicatória

Dedico este trabalho em primeiro lugar à minha família, mãe, pai e irmão por todo o apoio incondicional em todos os aspetos e momentos não só no decorrer do mestrado mas como em toda a minha vida e à minha namorada pela ajuda e apoio nos momentos mais difíceis desta caminhada. Sem estes pilares, não teria conseguido chegar a este ponto.

Quero agradecer aos meus verdadeiros amigos que sempre estiveram presentes quando precisei e que me aturaram nos piores momentos. Eles sabem quem são.

A todos ficarei eternamente em dívida.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Para além de toda a minha família, namorada e amigos, aos quais agradeço do fundo do meu coração por toda a ajuda e apoio, este trabalho não teria sido possível sem a orientação e coordenação dos Professores Doutores Jorge Siopa e Fernando Batista que tanto contribuíram com conhecimentos e ajuda para que este trabalho fosse efetuado. Destaco a proximidade para comigo e a disponibilidade incansável quer em horário laboral que extra laboral e férias. Fosse quando e a que horas fosse, se pudessem ajudavam-me na hora.

A todos e em especial ao meu orientador e coorientador o meu grande e sincero obrigado por tudo.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

Este estudo consiste na análise de todo o processo de manutibilidade de uma indústria de fundição injetada de alumínio e *zamac*, liga composta por zinco, alumínio, magnésio e cobre, de forma a perceber qual o método utilizado anteriormente neste aspeto, o que se poderia implementar e o que se poderia melhorar. Com o concretizar do mesmo concluiu-se que esta empresa não tinha qualquer sistema de manutenção implementado nem uma base de dados ou histórico de intervenções e manutenções corretivas e preventivas na medida que se baseavam no funcionamento dos equipamentos até à sua paragem não programada, por avaria. Apenas nestes casos se procedia a algum trabalho de reparação ou manutenção sendo que o tempo de paragem poderia ir de apenas algumas horas a alguns dias ou semanas. Em termos de *stock*, apenas se reservam alguns elementos mais críticos e de fácil reparação das máquinas.

Inicialmente, tentou-se perceber que tipo de histórico, em termos de avarias e manutenção a empresa tinha que pudesse servir como ponto de partida para o meu estudo, sendo que não existiam registos de avarias, paragens forçadas ou processos de algum tipo de manutenção.

Como ponto de partida, analisei registos de produção das máquinas onde constam alguns dados de paragens de produção e os respetivos motivos. Estes registos baseiam-se em folhas onde cada operador, no fim de cada turno de trabalho, preenche com o trabalho desenvolvido naquele turno e, em caso de alguma paragem, regista o tempo em que a máquina esteve parada e o motivo. Em simultâneo, foram consultados registos de faturação de aquisição de peças, pagamentos de mão-de-obra a técnicos.

De seguida, tentou-se perceber como é que as intervenções nas máquinas são efetuadas, sendo que além de trabalhos de eletricidade, automação e hidráulica, tudo é feito com ferramenta e mão-de-obra própria da empresa. Também aqui foi-me facultada documentação relativa aos vários custos de mão-de-obra da empresa bem como de técnicos subcontratados.

Tendo já recolhido e tratado toda a informação no que às avarias diz respeito, analisei os tempos e avarias para tentar perceber quais as mais críticas e que era responsáveis por maior parte de tempo de paragem das máquinas.

Após as avarias identificadas e quantificadas temporalmente, calculei os custos de cada motivo de paragem não programada, tratei essa informação e foram propostos alguns procedimentos sendo que os cálculos foram refeitos teoricamente para se apurar poupanças significativas no caso de implementação de um plano de manutenção preventivo.

Houve abertura por parte da administração da empresa a fazer ligeiras alterações na constituição das máquinas de modo a ficarem mais robustas e está-se a tentar pôr em prática um plano de manutenção preventivo aproveitando o tempo de paragem programada das máquinas para se fazerem pequenos trabalhos de reparação, alteração ou simples limpeza.

Por fim são apresentados dados teóricos, após cálculos estatísticos baseados em modelos de *Weibull*, de alterações a médio/curto prazo em termos de tempos de paragem e custos com as alterações propostas evidenciando a importância que uma manutenção preventiva tem numa empresa, tornando-se cada vez mais uma ferramenta essencial no aumento de competitividade de qualquer instituição com fins lucrativos.

Palavras-chave: Manutenção, avaria, MTBF, custos

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

In this study, was analyzed all the maintainability process of injected aluminum and zamac, a zinc, aluminium, magnesium and coper alloy, casting industry in order to understand what was already being done in this subject, what could be implemented and what could be improved. It was quickly concluded that this company had no maintenance system implemented, neither a database or historic of interventions and corrective or preventive maintenance so their plan were based on the operation of equipment to its unscheduled stop for damage. Only in this scenario was done any repair or maintenance work and the downtime could go only a few hours to a few days or weeks. In terms of stock, just reserve some more critical elements and elements more easy to repair.

First, it was necessary to understand what kind of history in terms of damage and maintaining that the company had that could be used as a starting point for this study, and it was concluded that there were no records of failures, forced stops or processes of any maintenance.

As a starting point, were analyzed records of production machines which contains some data of production stops and the respective reasons. These records are simple sheets where each operator at the end of each work shift, fill with the work information of that shift, and if any stop occurred, they record the time that the machine was stopped and the reason. At the same time, billing parts acquisition records were consulted, hand labor payments to outsource technicians.

Then, it was made a research to understand how the interventions on the machines were made, and besides electricity works, automation and hydraulics, everything is done with hand tools and manpower of own company. On this subject, documents relating the various hand labor costs of the company and subcontracted technicians were available.

Having already collected, treated and analyzed all information regarding malfunctions and breakdowns times, it was tried to figure out the most critical failure cause and witch was responsible for most downtime of the machines.

After identified and quantified damage temporally, it was calculated the costs of all unscheduled stops by failure. This information's were treated and were proposed some procedures and calculations were theoretically remade to establish significant savings in the case of implementation of a preventive maintenance plan.

Company's management were available to make slight changes in the composition of the machines so that they become more robust. It is also to trying to implement a preventive maintenance plan taking advantage of scheduled downtime of the machines to do small jobs repair, alterations or simple cleanings. Finally in this study are presented the medium / short-term changes of theoretical data in terms of downtime and cost of the proposed amendments highlighting the importance of preventive maintenance has a company, becoming an increasingly essential tool in increasing competitiveness to any for-profit institution .

Keywords: Maintenance, breakdown, MTBF, costs

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Figuras

Figura 1 - Corpo de Bomba de Água	5
Figura 2 - Definição de <i>Zamac</i>	6
Figura 3 - Matéria-Prima em lingotes	7
Figura 4 - Constituição geral de máquina de injeção de câmara quente	8
Figura 5 - Ilustração da zona de injeção.....	9
Figura 6 - Injeção da matéria-prima fundida.....	10
Figura 7 – Abertura do molde	11
Figura 8 - Extração da peça moldada.....	12
Figura 9 - Injeção numa máquina de câmara fria.....	13
Figura 10 – Esquema da Implementação Fabril.....	16
Figura 11 - Máquina F01	17
Figura 12 - Máquinas F02 e F03 e F04	18
Figura 13 - Máquinas F05, F07, F08 e F11.....	19
Figura 14 - Máquina F10	19
Figura 15 - Redundância Paralelo e Redundância Série num sistema S.....	48

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparação entre tecnologias	13
Tabela 2 - Marcas e Modelos das Máquinas de Injeção	20
Tabela 3 - Resumo de Avarias Identificadas.....	31
Tabela 4 - Resumo de Avarias com datas e tempo de paragem da máquina F01	32
Tabela 5 - Indisponibilidade Máquina F01	33
Tabela 6 - Percentil de cada avaria na máquina F01	34
Tabela 7 - Análise de <i>Pareto</i> Global.....	36
Tabela 8 - Percentil de avarias global	37
Tabela 9 - Custo de Aquisição de Peças	40
Tabela 10 - Custos de Mão-de-obra	41
Tabela 11 - Custos associados à máquina F01	42
Tabela 12 - Custos Globais por Avaria	43
Tabela 13 - Percentil Acumulado por avaria.....	44
Tabela 14 - Base de dados de <i>Weibull</i>	51
Tabela 15 - Cálculo do Tempo Ótimo de Substituição	54
Tabela 16 - Fator Escala.....	55
Tabela 17 - Tempo Ótimo de Substituição	56
Tabela 18 - Alteração de Parâmetros da Função Fiabilidade.....	57

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Equações

Equação 1 - Função Fiabilidade para Distribuição Exponencial Negativa	25
Equação 2 - Taxa de Falha.....	25
Equação 3 - Tempo Médio Entre Falhas	25
Equação 4 - MTBF Inverso da Taxa de Falha	25
Equação 5 - Função Fiabilidade.....	26
Equação 6 - Tempo de Reparação	27
Equação 7 - Tempo Médio Entre Falhas	27
Equação 8 - Equação da Disponibilidade	28
Equação 9 - Indisponibilidade/Disponibilidade.....	28
Equação 10 - Otimização de Custos	54
Equação 11 - Otimização de Custos com Redundância	54

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Siglas

ZAMAC – Liga constituída por Zinco, Alumínio, MAgnésio e Cobre;

ID – Identidade;

λ – Taxa de falha;

β – Fator de Forma;

η – Fator de Escala;

r - Função Gama;

t – Tempo em horas;

FMEA – “Failure Mode Effect Analysis”, Análise de Modo e Efeito de Falha;

FMECA – “Failure Mode, Effects and Critical Analysis”, Análise dos Efeitos e Criticidade dos Modos de Falha;

NASA - National Aeronautics and Space Administration;

CA – Análise de Criticidade;

S – Sistema;

MTBF – “Mean Time Between Failure”, Tempo Médio Entre Falhas;

MTTR – “Mean Time To Repair”, Tempo Médio de Reparação;

TTT – Tempo Total de Trabalho;

$F_i(t)$ – Função de probabilidade acumulada de avarias;

$R_i(t)$ – Função Fiabilidade;

Cps – Custo de manutenção preventiva;

Cfs ou Ch – Custo de falha/avaria;

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

Índice.....	xx
1 Introdução	1
1.1 Estrutura da Dissertação	2
2 Fundição Injetada.....	5
2.1 História	5
2.2 Tecnologia	6
2.2.1 Máquinas de Câmara Quente	7
2.2.2 Máquinas de Câmara Fria	12
2.2.3 Comparação entre Tecnologias	13
2.3 Empresa em Estudo.....	14
2.3.1 Apresentação da Empresa	14
2.3.2 Esquema de Implementação Fabril.....	16
3 Técnicas e Modelos	21
3.1 Fiabilidade	21
3.2 Falha	22
3.3 Análise de Taxa de Falha	23
3.4 Modelos Fiabilísticos e Distribuições.....	24
3.4.1 Modelo Fiabilístico para Taxa de Falha Constante – Distribuição Exponencial	24
3.4.2 Modelo Fiabilístico para Taxa de Falha Variável – Distribuição de Weibull.....	25
3.5 Análise FMECA.....	26
3.6 Cálculo de Tempos	27
3.7 Análise de <i>Pareto</i>	29
4 Desenvolvimento	31
4.1 Falhas Identificadas	31
4.2 Cálculo de Tempos	33
4.2.1 Análise de <i>Pareto</i> por Máquina	33
4.2.2 Análise de <i>Pareto</i> Global.....	35
5 Análise de Custos	39
5.1 Competitividade pelos Custos	39
5.2 Análise de Custos por Máquina	39
5.3 Análise de Custos Global	43

6	Otimização da manutenção.....	47
6.1	Age-Based Maintenance	47
6.2	Redundância de Sistemas	48
6.3	Fator Forma e Fator Escala	52
6.4	Cálculo do Tempo Ótimo de Reparação	53
7	Análise de Sensibilidade.....	57
8	Conclusões.....	59
9	Trabalhos Futuros	60
	Anexos	65

1 Introdução

Hoje em dia, com o crescimento da indústria global, cada vez mais as empresas de produção são obrigadas a definir estratégias de modo a permanecerem no mercado de modo notório e competitivo face ao aparecimento constante de novos concorrentes bem como para fazer face ao rápido dinamismo da economia que todos os dias altera as exigências do mercado. Para tal, uma vez que o preço de um determinado produto já tem de sair de fábrica o mais reduzido possível e onde um aumento poderia implicar de imediato a perda de um mercado alvo, as empresas têm de optar por outros caminhos com o objetivo de permanecerem competitivas face aos concorrentes diretos. Reduzir o custo de um produto pela redução da sua qualidade também não é o melhor caminho a seguir pois o consumidor está também ele mais exigente a cada dia que passa querendo sempre pagar pela melhor oferta possível. Assim uma das estratégias passa pela redução dos custos de produção e operacionais de uma empresa de produção. [1]

Podemos decompor a produção de determinado objetivo numa série de variáveis que interferem diretamente com o seu custo de produção final, sendo eles o preço da matéria-prima, o tempo que demora a ser efetuado um produto final e os custos operacionais que a empresa acarreta ao produzir um determinado produto. Uma vez que, como já foi referido anteriormente, a qualidade da matéria-prima pode prejudicar diretamente a competitividade de um determinado produto no seu mercado, não vamos por em hipótese a alteração da mesma. Muitas empresas apostam, e bem, na redução do tempo de produção de um elemento até ao seu estado final para comercialização. Quase sempre este fator encontra-se diretamente relacionado com tecnologia e a renovação da mesma por sistemas e linhas de produção mais rápidas e modernas que se traduzem em produzir a mesma quantidade de produtos finais em menos tempo. Importa referir que normalmente estas alterações a nível tecnológico são muito dispendiosas e nem todas as empresas estão dispostas a acompanhar a evolução tecnológica. [2] [3]

Então houve a necessidade de se perceber onde se poderia poupar algum dinheiro numa linha de produção que ficasse diretamente relacionado com o custo de produção final de um determinado produto.

Mesmo a mais das modernas e rápidas linhas de produção, parada não serve de nada. A paragem de uma linha de produção significa dinheiro perdido a cada segundo que passa

aumentando os custos operacionais de uma empresa uma vez que sem produção não existe matéria para ser comercializada e com que se possa fazer dinheiro e ter o lucro pretendido. Foi então aqui que a palavra manutenção, que até aqui era o alvo a abater por a manutenção era vista como uma área apenas e só de despesa, começou a ser encarada como das únicas soluções para reduzir os custos operacionais e produtivos de uma empresa. Uma linha que não para por avaria durante a produção de um determinado lote de produtos, é uma linha o mais otimizada possível. Uma empresa que consiga produzir um lote dentro do tempo previsto sem paragens não programadas, tem todas as condições para conseguir satisfazer as necessidades do mercado onde se insere de forma competitiva, não tendo gastos inesperados e podendo reduzir ao máximo o preço do seu produto final sem precisar de alterar a sua qualidade. É nesta manutenção que este estudo se baseia, tendo sido analisado um caso prático real. [2]

1.1 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho envolveu várias fases desde a recolha de elementos, ao seu tratamento, passando pela obtenção e tratamento de resultados até à discussão dos mesmos e conclusões passando por um enquadramento teórico da matéria aplicada.

No capítulo 1 insere-se a presente estrutura deste trabalho onde são descritos de forma geral as linhas orientadoras bem como os seus objetivos.

No capítulo 2, é feita uma introdução ao trabalho onde é elaborado um alinhamento dos objetivos com a realidade do tema e área onde se insere. É também feita uma explicação detalhada da fundição injetada começando por uma localização histórica deste tipo de técnicas passando por expor e comparar as tecnologias existentes. Por fim é efetuada uma apresentação da empresa em estudo bem como alguns aspetos a ter em conta no desenvolvimento deste trabalho.

No capítulo 3 foram descritas as diferentes taxas de falha bem como os modelos teóricos disponíveis para fazer o tratamento dos dados numa aplicação cujos objetivos são analisar e melhorar técnicas de manutenção com o intuito de minimizar as falhas dos sistemas.

No capítulo 4 foi efetuada a identificação de todas as falhas no caso de estudo bem como o cálculo de tempos de paragem e tempos de reparações e feita uma análise dos resultados com o objetivo de conhecer e identificar quais as avarias ou problemas cujas maiores atenções devem ser viradas.

No capítulo 5 foi feita uma análise aos custos causados por paragens não programadas por avaria, contemplando custos de paragem, mão-de-obra, aquisição de peças e da resolução das próprias avarias em si.

No capítulo 6 foram aplicadas algumas técnicas teóricas de modo a que se conseguisse otimizar a manutenção com o objetivo de se reduzir o número de falhas e a sua conseqüente taxa de falha aumentado assim a fiabilidade dos equipamentos bem como o cálculo de um tempo ótimo de substituição ou manutenção de determinados elementos cruciais ao sistema.

No capítulo 7 é efetuada uma análise de sensibilidade que justificam os resultados obtidos bem como o que seria espera caso fossem introduzidos custos adicionais não levados em conta.

No capítulo 8 são apresentados de forma resumida todos os resultados bem como as conclusões obtidas neste estudo.

Por fim no capítulo 9 são sugeridos alguns pontos relativos a trabalhos futuros que possam tanto ajudar a empresa a melhor o seu sistema de manutenção bem como melhorar um futuro estudo semelhante ao apresentado neste trabalho.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

2 Fundição Injetada

Com a crescente evolução tecnológica e aumento de competitividade, as indústrias viram-se envoltas numa diária exigência por mais, melhor e mais complexos sistemas, componentes e equipamentos.

No que toca à produção de peças em alumínio ou ligas de alumínio, dada a complexidade cada vez mais imposta bem como os volumes de produções exigidas pelo mercado, existia a necessidade de se encontrar e adotar uma técnica que permitisse a produção em massa dos mais variados componentes. Assim surge a fundição de alumínio e ligas de alumínio. Esta técnica permite a execução de componentes de complexidade técnica que de outro modo seriam difíceis de trabalhar e que ficariam dispendiosas. Este tipo de produção transmite ciclos de produção relativamente curtos e conseguindo aplicar às peças injetadas um acabamento bastante bom onde muitas vezes é apenas necessário cortar o jito ficando a peça pronta e acabada para ir para o cliente como ilustra a Figura 1. [4]



Figura 1 - Corpo de Bomba de Água

2.1 História

Os primeiros exemplos de fundição através da aplicação de pressão, ao contrário da já utilizada por pressão da gravidade, ocorreram em meados do século XVIII. Em 1838 foi inventada a primeira máquina de fundição injetada sendo que apenas era utilizada para trabalhos de impressão. Até aqui nunca tinha sido registada nenhuma patente sendo que em 1849 esta foi atribuída a Sturges, inventor da então primeira máquina de injeção fundida por

aplicação de pressão operada manualmente para a fundição do tipo impressão. O processo foi limitado à indústria de impressão sendo que a partir daí a tecnologia foi alvo de algum estudo e evolução. Em 1892, já eram algumas as aplicações comerciais de peças efetuadas por este processo tais como peças para fonógrafos e caixas registradoras sendo que a produção em massa de muitos tipos de peças começou apenas no início do século XIX. [5] [6]

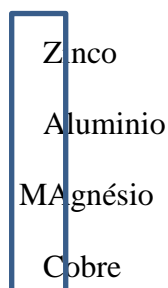
As primeiras ligas utilizadas nos processos de fundição foram várias composições de estanho e chumbo, mas a sua utilização diminuiu com a introdução de zinco e ligas de alumínio em 1914, sendo que na década de 1930, surgiram muitas ligas ainda atualmente utilizadas nesta indústria. [5] [6]

O processo de fundição evoluiu a partir do método de injeção de baixa pressão até às técnicas atuais existentes tais como o vazamento de alta pressão com forças superiores a uma tonelada por centímetro quadrado. Estes processos modernos são capazes de produzir elementos com alta integridade e excelentes acabamentos de superfície. [5] [6]

2.2 Tecnologia

Tal como na área de injeção de polímeros, na injeção de ligas metálicas, neste caso em estudo de alumínio e *Zamac*, são necessários vários equipamentos para desempenhar estas funções sendo que os principais são as máquinas de injeção. [6] [4]

O alumínio é um metal não ferroso que todos nós conhecemos e praticamente todos temos em nossas casas principalmente em caixilharia e que utilizamos todos os dias em variados instrumentos e ferramentas. O *Zamac* é uma liga composto por quatro elementos principais sendo eles o alumínio, o zinco, o cobre e o magnésio, de onde advém o nome da própria liga.



Zinco
Alumínio
Magnésio
Cobre

Figura 2 - Definição de *Zamac*

Dependendo do tipo de peça a ser produzida e do tipo de matéria-prima a ser utilizada, a tecnologia de injeção de alumínio fundido divide-se em dois grupos, a utilização de máquinas de injeção de câmara quente (*Hot-Chamber Die Casting Machines*) e as máquinas de injeção de câmara fria (*Cold-Chamber Die Casting Machines*) que passarei a descrever de seguida. [4]

2.2.1 Máquinas de Câmara Quente

Máquinas de injeção de câmara quente, como o próprio nome indica, são máquinas onde o processo de liquidação da matéria-prima é efetuada dentro da própria máquina sendo que esta possui uma fornalha interna e de onde esta vai sugar, através de canais apropriados e resistentes à temperatura de passagem da matéria-prima do estado sólido, uma vez que neste tipo de indústria a matéria-prima é fornecida normalmente em lingotes, para o estado líquido, como ilustram as imagens seguintes. De referir que estas fornalhas precisam de ligação a um elemento combustível, normalmente gás natural, uma vez que funcionam com um queimador que tem de manter o material acima do seu ponto de fusão. A Figura 3 ilustra o modo como normalmente é fornecida a matéria-prima no tipo de indústria em estudo. [4]



Figura 3 - Matéria-Prima em lingotes

A Figura 4 ilustra a constituição global de uma máquina de injeção de câmara quente onde podemos ver onde a matéria-prima é passada para o estado líquido, com o auxílio de uma fornalha, e o processo de injeção do material no molde.

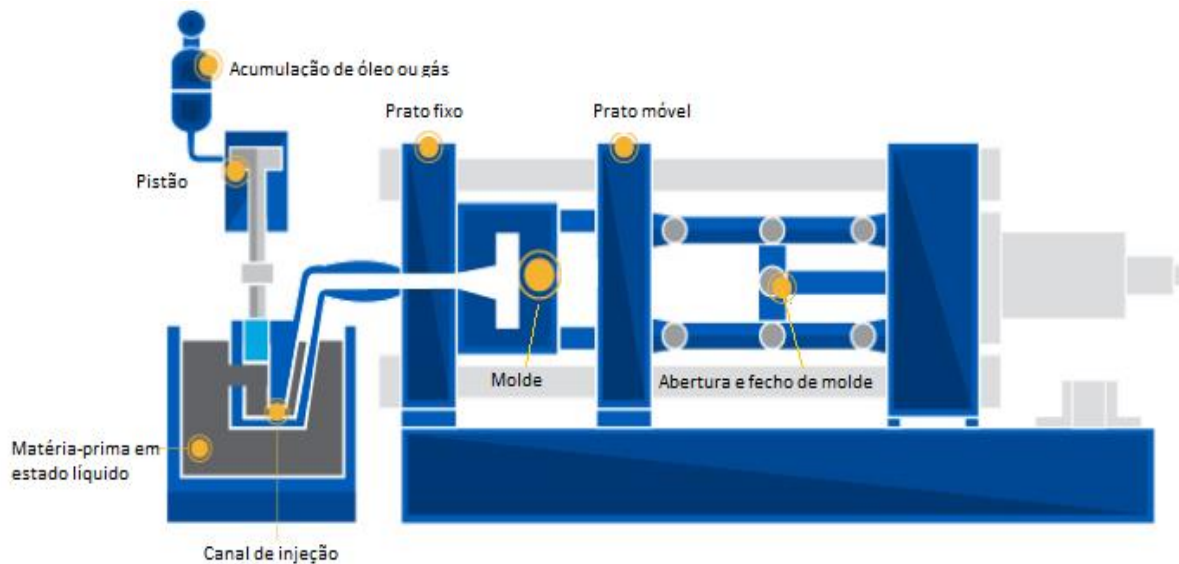


Figura 4 - Constituição geral de máquina de injeção de câmara quente [4]

De seguida, o pistão recolhe para cima, permitindo que a matéria-prima fundida entre para a chamada matriz de injeção sendo que a quantidade de material que entra para a matriz pode ser controlada através do avanço ou recuo do próprio pistão. De referir que é sempre colocada matéria-prima a mais do que realmente a peça a injetar necessita para se ter a certeza de que esta é corretamente preenchida com material, evitado assim que fique com ocos ou bolhas de ar. Para isto são criados os chamados jitos que são pequenas bolsas de material que ficam agarradas à peça. Se estas bolsas encherem, temos a certeza que a peça ficou bem injetada. No fim estas bolsas são retiradas da peça final. A Figura 5 representa com mais pormenor a zona onde é efetuada a injeção do alumínio fundido. [4]

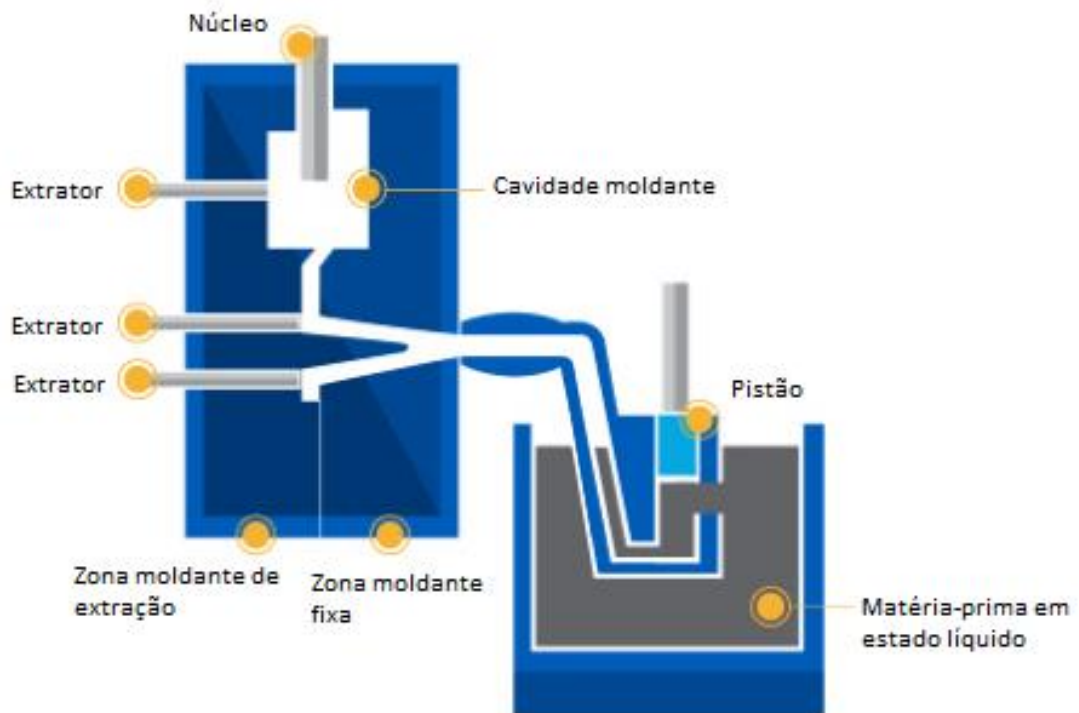


Figura 5 - Ilustração da zona de injeção [4]

Por fim, depois de a matriz estar cheia de matéria-prima, o pistão executa o movimento de compressão da mesma, exercendo uma pressão que obriga o material a correr pelo canal de injeção até chegara ao bico de injeção. O bico de injeção é o último elemento da máquina que a matéria-prima fundida percorre antes de entrar no molde. Daqui a matéria-prima é forçada a entrar no molde preenchendo então toda a zona moldante para a peça final pretendida tal como ilustra a Figura 6. [4]

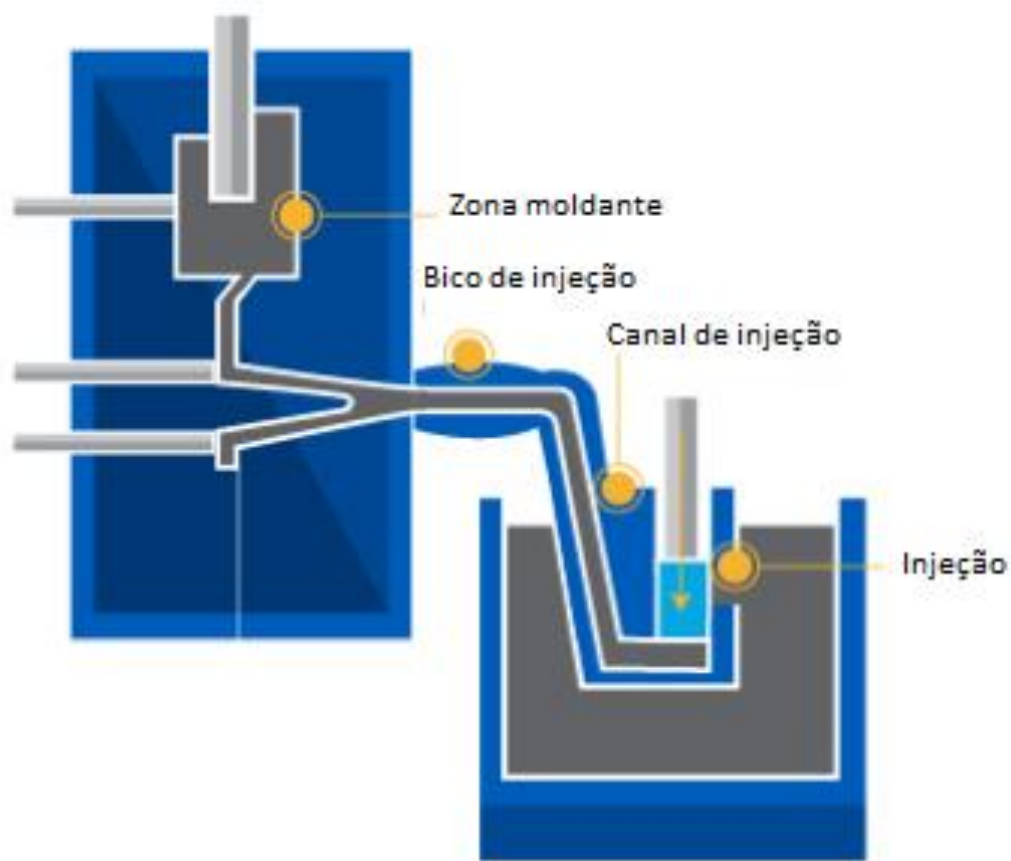


Figura 6 - Injeção da matéria-prima fundida [4]

Representado pela Figura 7, temos a penúltima fase onde, depois de dado o devido tempo para o processo de injeção ser efetuado e da matéria-prima em estado líquido solidificar dentro do molde, a máquina, através do mecanismo de abertura e fecho da máquina, faz abrir o molde podendo-se nesta fase já visualizar a peça pretendida injetada mas contento ainda todos os jitos anexados. [4]

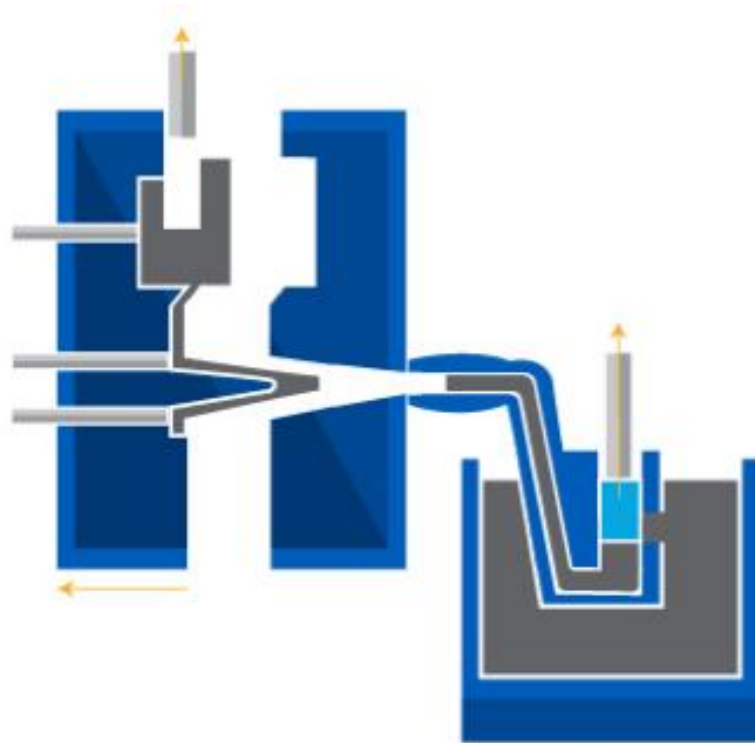


Figura 7 – Abertura do molde [4]

Por fim, na Figura 8, está representada a parte de extração entra em função e faz com que a peça de desmolde da zona moldante através de um sistema de extratores que a empurra para fora sendo que se conclui aqui o processo de injeção de uma peça. Daqui a máquina volta a fechar o molde e o processo é reiniciado tantas vezes quanto o numero de peças pretendidas. [4]

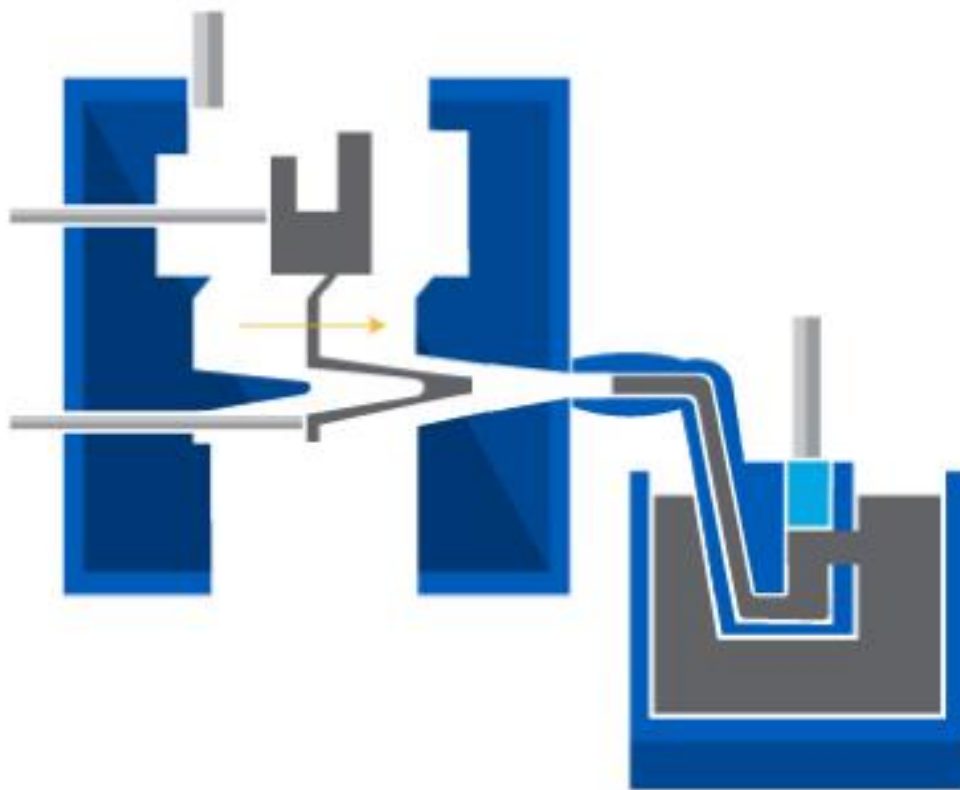


Figura 8 - Extração da peça moldada [4]

2.2.2 Máquinas de Câmara Fria

Ao invés das máquinas de injeção de câmara quente, estas não possuem o reservatório de matéria-prima em estado líquido acoplado ao próprio corpo da máquina. Neste caso, é necessário um forno adicional à máquina para desempenhar a função de fazer com que a matéria-prima passe do estado sólido, que tal como foi descrito em cima é fornecida em lingotes, para o estado líquido, também aqui elevando a mesma a temperaturas superiores à sua temperatura de fusão. As imagens seguintes ilustram o funcionamento de uma máquina de injeção de câmara fria. [4]

Como ilustra a Figura 9, no sistema de injeção de câmara fria, o metal tem de ser despejado para o próprio canal de injeção frio sendo que depois, tal como no sistema de câmara quente, é aplicada uma pressão pelo pistão onde a matéria-prima fundida é forçada a entrar dentro da cavidade moldante. [4]

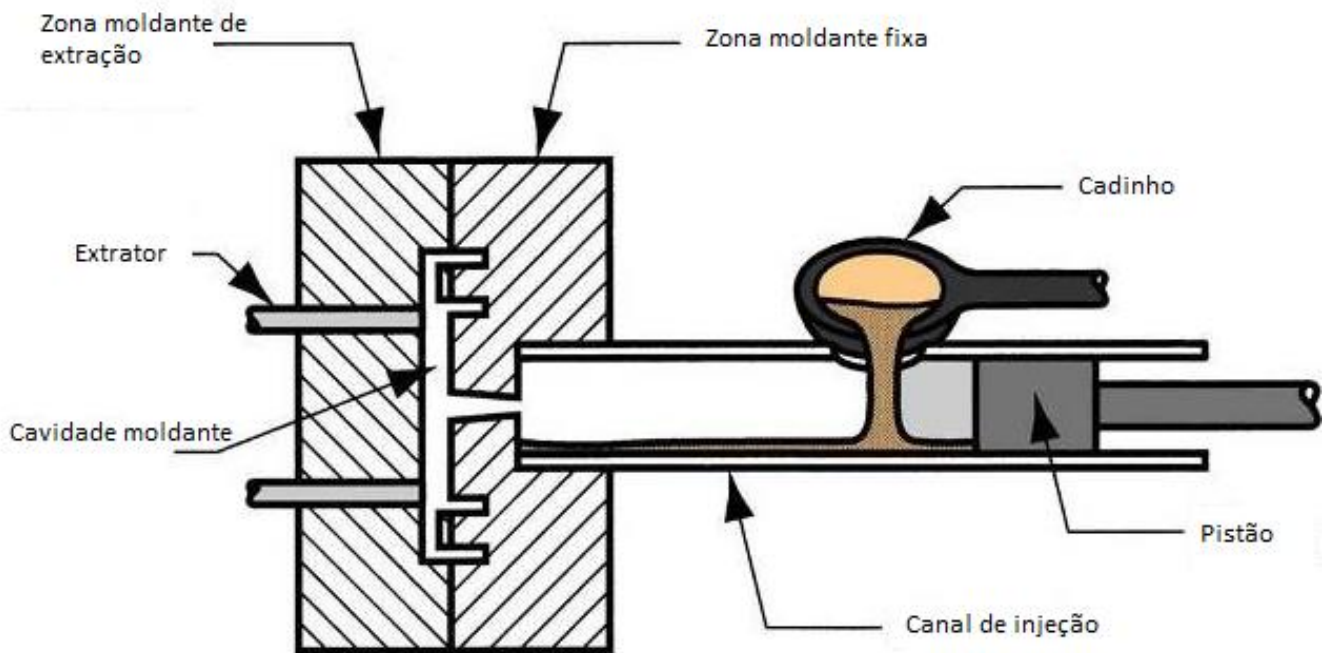


Figura 9 - Injeção numa máquina de câmara fria [4]

2.2.3 Comparação entre Tecnologias

De seguida, através da Tabela 1, são apresentadas as principais diferenças entre estes dois tipos de tecnologias utilizadas na fundição injetada.

	Máquinas de Câmara Quente	Máquinas de Câmara Fria
Tipos de Matéria-Prima	Ligas de Cobre, Zinco, Magnésio e Chumbo	Ligas de Cobre, Alumínio e Cobre
Temperaturas de Fusão	Materiais com baixas temperaturas de fusão	Materiais com altas temperaturas de fusão
Câmaras	Tipo "Pescoço de Ganso"	Cilíndrica automática ou vazamento manual
Sistema de Fecho	Pistão	Pistão Hidráulico
Processo	Contínuo	Cíclico

Tabela 1 - Comparação entre tecnologias

De referir que a empresa em estudo utiliza dois tipos de matéria-prima sendo o Alumínio e o *Zamac*. A escolha entre estes dois tipos de matéria-prima é essencialmente assente na finalidade para a qual o produto final foi concebido. [4]

O alumínio, muito utilizado em variadas aplicações do nosso dia-a-dia, é por exemplo muito utilizado em caixilharia ou maçanetas e puxadores devido à sua alta resistência à corrosão e intempéries com boas performances mecânicas no que diz respeito à sua

transformação e reconfiguração, dispensa grandes manutenções, apresentando um baixo peso específico apresentando uma cor cinza. [4]

Já o *ZAMAC*, como foi já em cima descrito, é uma liga composta por Zinco, Alumínio, Magnésio e Cobre. Esta liga é caracterizada pelas suas propriedades mecânicas, aliadas a baixos custos de fabricação, boa resistência à corrosão, tração, choques e desgastes. A sua fácil injeção proporciona obtenção de superfícies lisas e complexas. É utilizado na fabricação de ferragens, maçanetas, espelhos e alguns componentes das fechaduras apresentando, tal com o alumínio, uma cor cinza.

2.3 Empresa em Estudo

A manutenção é um tema cada vez mais abordado nos dias de hoje. É uma técnica cada vez mais importante no quotidiano do ser humano tanto nas coisas banais do dia-a-dia como nas maiores indústrias de produção e até nos serviços.

Se não houver manutenção o carro tem mais probabilidades de avariar. Se avariar não vamos poder ir trabalhar ou vamos chegar atrasados. Se as indústrias não tiverem manutenções efetivas, os equipamentos vão ter mais probabilidade de avariar. Se avariarem a produção para. Se a produção para, não se vão conseguir cumprir prazos, perde-se negócio e lucro, a empresa perde capital, tem de cortar custos e será a chamada bola de neve que não para de aumentar.

A manutenção deve e tem de ser continuamente levada a sério por todos os que querem ser competitivos e por todos para quem uma falha tem consequências por mais pequenas que sejam.

Neste caso vai ser analisado o sistema de manutenção numa empresa de produção de elementos em alumínio e ligas por injeção fundida.

2.3.1 Apresentação da Empresa

Como já foi referido anteriormente, o caso de estudo presente neste trabalho é de uma empresa sediada na zona da Maceira, Leiria cujo ramo de laboração é a fundição injetada de alumínio e *zamac*. Esta empresa foi fundada em 1999 com o intuito de satisfazer as quebras no mercado na área da injeção de alumínio e *zamac*. [5]

Esta empresa possui cerca de 11 máquinas de injeção sendo que este estudo apenas se vai debruçar sobre as 9 máquinas que estão em pleno funcionamento. Trabalha em três turnos durante apenas os 5 dias úteis da semana sendo que, por força de situações em que o volume de encomendas assim o exige, poderia também trabalhar nos fins-de-semana. Estes turnos são então normalmente postos em funcionamento às 6:00h de Segunda-Feira de cada semana e as máquinas são paradas apenas às 00:00h de Sexta-Feira da mesma semana

Esta empresa fabrica tem a capacidade de produzir os próprios moldes a pedido do cliente, efetuando as devidas produções em alumínio ou *zamac* e tem toda a maquinaria e conhecimentos técnicos para efetuar o melhor acabamento às peças tendo também à disposição uma estufa de pintura, sendo certificada Associação Portuguesa de Certificação (APCER).

2.3.2 Esquema de Implementação Fabril

A Figura 10 representa uma implementação real das máquinas presentes neste estudo na nave fabril deste caso de estudo, seguindo uma breve descrição de cada uma.



Figura 10 – Esquema da Implementação Fabril

Com o intuito de identificar e diferenciar as máquinas, foi utilizada a mesma designação que a empresa utiliza internamente com uma numeração de F01 a F11. Contudo para este estudo apenas consideramos as máquinas F01, F02, F03, F04, F05, F07, F08, F10 e F11. As restantes máquinas, F06 e F09 foram máquinas adquiridas pela empresa mas que efetivamente ainda não foram colocadas em funcionamento principalmente por questões de

reparação e peças necessárias mas também pela ainda não urgente necessidade de as ter em funcionamento apesar de estarem presentes na unidade fabril há já alguns anos.

Começando por ordem, as máquinas F01, F02 e F03 são as únicas máquinas de câmara quente para a injeção de peças apenas de *zamac*. Como foi já referido anteriormente, são máquinas que incorporam o próprio mecanismo de derretimento da matéria-prima. Todas estas máquinas estão equipadas com um robot de extração automática de peças injetadas podendo ou não estar todos a operar conforme a especificidade da peça em questão. A Figura 11 representa a máquina F01, da Marca *Buhler*, A Figura 12 representa as máquinas F02 e F03 sendo elas da mesma marca, *Frech*. Estas máquinas têm todo o mesmo princípio de funcionamento, diferindo apenas, além da marca, nas forças de fecho que podem aplicar ao molde a utilizar tendo a máquina F01 uma força de fecho de 250 toneladas, a F02 uma força de fecho de 125 toneladas e a máquina F03 uma força de fecho de 80 toneladas.



Figura 11 - Máquina F01



Figura 12 - Máquinas F02 e F03 e F04

Como foi referido anteriormente, as máquinas F04, F05, F07, F08, F10 e F11, são todas máquinas de injeção de alumínio. A máquina F04, ilustrada também pela Figura 12, também é da marca *Frech* tendo uma força de fecho de 315 toneladas. As máquinas F05, F07, F08 e F11, são da marca *Idra*, conforme ilustra a Figura 13, sendo que apenas diferem também nas forças de fecho. A máquina F05 e a F07 têm uma força de fecho de 500 toneladas, a máquina F08 tem uma força de fecho de 380 toneladas e a máquina F11 tem uma força de fecho de 700 toneladas. Por fim a máquina F10 é da marca *Petransa* e tem uma força de fecho de 750 toneladas, sendo a máquina de toda a fabricação com mais força, ilustrada na Figura 14.

A Tabela 2 seguinte resume as marcas e modelos das máquinas de injeção.



Figura 13 - Máquinas F05, F07, F08 e F11



Figura 14 - Máquina F10

ID MÁQUINA	MÁQUINAS DE INJEÇÃO				ID MÁQUINA
	CÂMARA FRIA		CÂMARA QUENTE		
	ALUMINIO		ZAMAC		
	MARCA	MODELO	MARCA	MODELO	
F04	Frech	315	Buhler	250	F01
F05	Idra	500	Frech	125	F02
F07	Idra	500	Frech	80	F03
F08	Idra	380			
F10	Petransa	750			
F11	Idra	700			

Tabela 2 - Marcas e Modelos das Máquinas de Injeção

3 Técnicas e Modelos

3.1 Fiabilidade

O conceito de fiabilidade nada mais significa do que o grau de confiança, credibilidade que se tem sobre algo ou sobre alguém. [7]

A fiabilidade como a conhecemos nos dias de hoje, já é praticada desde há muito tempo. Contudo, nunca tinha sido aplicada em sistemas e tecnologias desde há 60 anos atrás. Depois da Primeira Guerra Mundial, dado ao gigantesco número de avarias e equipamentos que funcionaram mal ou simplesmente não funcionaram em plena guerra. Começou, por exemplo, a ser medida pelos números de acidentes de aviões em relação às horas de voo que estes tinham. Em 1930, Walter Shewhart, conhecido como o pai do controlo estatístico de qualidade, Harold F. Dodge, considerado como um dos principais arquitetos dos modelos estatísticos aplicados à qualidade e Harry G. Roring, professor de matemática e principal cooperador de Harold F. Dodge no estudo de modelos estatístico de qualidade, começaram a aplicar modelos matemáticos e estatísticos no controlo de qualidade de produtos industriais. Contudo, as técnicas desenvolvidas nunca foram aplicadas a uma grande escala até à Segunda Guerra Mundial. Aqui, com a evolução dos equipamentos e com a sua crescente inserção de elementos, as avarias começaram a aparecer e a aumentar rapidamente apesar de estes equipamentos serem constituídos por elementos de muito alta qualidade. [8] [9] [10]

Durante a Segunda Guerra Mundial, uma equipa de trabalho estava a trabalhar no desenvolvimento de um novo sistema de mísseis sobre a alçada de Wernher von Braun, principal figura no desenvolvimento dos sistemas de mísseis na Alemanha e Estados Unidos, sendo que no fim da guerra se constatou que a maioria destes mísseis se revelaram um fiasco devido à enorme taxa de falhas que ocorreu. Robert Lusser, um matemático, foi chamado a colaborar na análise deste problema que rapidamente concluiu que se estava perante um teorema de probabilidade de um produto com componentes em série e afirmava que a fiabilidade de um sistema assim resultava do produto da fiabilidade de todos os componentes presentes nesse sistema. Como resposta a este problema, os Estados Unidos resolveram aplicar aos seus sistemas elementos de ainda maior qualidade, aumentando as suas fiabilidades mas não resolvendo o problema. [8] [9] [10]

Anos mais tarde, com a luta pelo primeiro lançamento de um ser humano para a Lua entre os Estados Unidos e a Rússia, o interesse sobre a fiabilidade de sistemas foi crescendo e a nível global foram sendo criados grupos e instituições de trabalho com o objetivo de estudo e desenvolvimento de sistemas estatísticos de análise de fiabilidade de sistemas por volta dos anos 50, 60 e 70. [8] [9]

3.2 Falha

No conceito da palavra, avaria significa um dano ou um estrago ocorrido num determinado equipamento cujas condições de funcionamento normais foram alteradas de modo que este já não consiga desempenhar a função para o qual foi concebido. Normalmente as avarias ocorrem de forma imprevisível e aleatória como já foi referido neste estudo. São indesejadas e causadoras de numerosas consequências que resultam quase sempre em custos e gastos inesperados e avultados resultantes direta ou indiretamente da avaria. [11]

A questão principal relacionada com as avarias será qual a melhor maneira ou método a utilizar para as tentar prever de modo a se conseguir reduzir a sua ocorrência. Seria muito fácil substituir determinado elemento causador de avaria após determinado número de horas de funcionamento mas, dando o exemplo de um carro, não seria viável substituir todas as pelas constituintes antes destas avariarem até porque nunca se consegue prever ao certo quando vão avariar.

Porém, existem algumas técnicas que nos permitem perceber com alguma lógica e exatidão quando vão acontecer, ou quanto tempo vão demorar a acontecer estas avarias. Este tipo de previsão é tanto mais precisa quanto melhor for a base de dados e o histórico dos registos de avarias ao longo do tempo de toda e qualquer instituição.

Neste capítulo serão explicadas algumas dessas técnicas de previsão de avarias e métodos de as conseguir reduzir ao longo do tempo sempre com o paralelo da viabilidade económica. Pode a prevenção da avaria não compensar do ponto de vista económico caso, por exemplo, a peça a substituir tiver uma relação preço/duração elevada relacionando com o impacto que a ocorrência desta avaria tenha na instituição.

3.3 Análise de Taxa de Falha

Uma avaria ou uma falha é comumente descrita como a cessação de funcionamento ou degradação de um parâmetro ou elemento de um determinado sistema até um nível considerado insatisfatório.

Uma falha pode ser classificada como catastrófica, onde pode ocorrer uma variação súbita de uma ou mais características de um ou mais elementos de um sistema, sendo a sua ocorrência absolutamente imprevisível.

Por outro lado, sendo o que na maioria das vezes acontece, uma falha é originada pela degradação dos elementos. Esta degradação pode ser muitas vezes potenciada pela variação gradual de uma ou mais características tendo uma ocorrência mais previsível. São normalmente evitadas por uma manutenção preventiva cuidada. Uma falha ou avaria tem sempre, como já foi referido, implicações económicas e de segurança sendo a melhor maneira das tentar prever, a realização de uma base estatística assente numa quantificação do número de avarias num determinado tempo. [12]

Esta análise estatística é realizada consoante o tipo de taxa de avaria (tipo de distribuição) que existe no sistema em estudo, sendo estas várias taxas de falha descritas de seguida.

A distribuição de falhas é representada normalmente pela designada curva da banheira que representa a evolução da ocorrência de avarias ao longo do tempo de maturidade de um equipamento desde que é concebido, representado pelo gráfico da Figura 15.

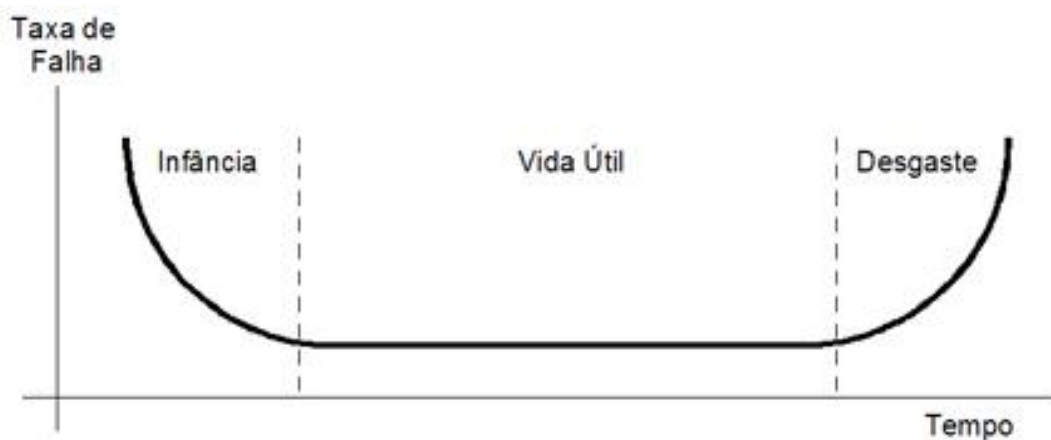


Figura 15 - Curva da Banheira [12]

Após análise deste gráfico, podemos concluir que assim que um equipamento é construído e posto em funcionamento, existe uma taxa de falha bastante elevada. Esta fase é chamada de período de infância. Normalmente este número elevado de avarias relaciona-se com os arranques de equipamentos que acarretam sempre muitas paragens por faltas de calibrações, afinações, elementos que por algum motivo não ficaram bem conectados ou fixos, deficiências de projeto ou fabrico. Pode também estar relacionada com questões de controlo de qualidade, amostragem ou testes de pré-seleção. Ultrapassada esta fase, chega-se ao período de maturidade do equipamento onde a taxa de falha começa a diminuir até que atinge um mínimo mantendo-se baixo e constante durante a maior parte do tempo de vida do equipamento. Ainda assim a taxa de falhas existente ocorre de forma aleatória e devido normalmente à redundância do sistema. Com o passar do tempo e da utilização, chega o período de degradação onde a determinada altura a taxa de falhas começa novamente a aumentar e é caracterizado pelo envelhecimento e fadiga dos equipamentos. É nesta fase que uma manutenção preventiva cuidada é fundamental para manter o máximo de tempo possível a taxa de falhas implicando normalmente a substituição de componentes. [12]

3.4 Modelos Fiabilísticos e Distribuições

No que diz respeito à fiabilidade, existem dois tipos situações analisados por modelos estatísticos, sendo elas um cenário em que temos um conjunto de dados a partir dos quais pretendemos calcular a função fiabilidade e respetivos parâmetros, ajustando ou não uma distribuição e outro cenário em que se pretende calcular a fiabilidade relativa a um dado momento e parâmetros relacionados, conhecendo uma distribuição prévia.

Duas distribuições conhecidas revelam-se particularmente importantes em Fiabilidade sendo elas a distribuição exponencial negativa que é aplicável quando a função de risco ou a taxa de avaria se podem considerar constantes e a distribuição de *Weibull*. [12]

3.4.1 Modelo Fiabilístico para Taxa de Falha Constante – Distribuição Exponencial

Um modelo fiabilístico para taxa de falha constante, é modelado por uma distribuição exponencial. Isto indica falhas com a mesma probabilidade de ocorrência durante todo o tempo de vida útil do sistema. Aqui, o tempo entre falhas de um sistema é independente da forma como este foi utilizado, ou seja, independente da degradação e da idade do mesmo

dependendo este apenas do tempo de operação observado e não da idade. Este modelo é caracterizado pela, acima descrita, curva da banheira onde se pode visualizar que numa fase de maturação, a taxa de variação do número de ocorrência de avarias se mantém constante.

Na distribuição exponencial negativa, a Fiabilidade é dada pela seguinte expressão,

$$R(t) = e^{-\lambda t}.$$

Equação 1 - Função Fiabilidade para Distribuição Exponencial Negativa

Em que λ pode representar uma taxa de avarias constante e t um tempo de funcionamento de um determinado equipamento reparável desde a sua colocação em funcionamento. [12]

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Tempo de amostra}}$$

Equação 2 - Taxa de Falha

Neste modelo, o tempo médio entre falhas é dado pelo inverso da taxa de falha, ou seja,

$$MTBF = \frac{\text{Tempo de amostra}}{\text{Número de falhas}}$$

Equação 3 - Tempo Médio Entre Falhas

ou o inverso [12].

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Equação 4 - MTBF Inverso da Taxa de Falha

3.4.2 Modelo Fiabilístico para Taxa de Falha Variável – Distribuição de Weibull

O modelo fiabilístico de *Weibull* é dos modelos mais flexíveis uma vez que os três parâmetros que o definem, permitem ajustar corretamente todos os resultados do estudo sejam experimentais ou operacionais. Ao contrário do modelo onde a taxa de falha é constante, no modelo de *Weibull* tem uma importante propriedade de não possuir uma forma característica adaptando-se aos casos onde a taxa de falha varia ao longo do tempo

permitindo o ajuste aos diferentes estados de um equipamento, sejam eles a infância ou às diferentes formas de envelhecimento. [12]

Ao analisar qualquer sistema, é comum encontrar taxas de falhas ascendentes e descendentes ao longo do tempo, e como tal, a fiabilidade neste caso é representada pela Equação 5. [12]

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

Equação 5 - Função Fiabilidade

Em que η representa o fator de escala e β representa o fator forma. Será efetuada uma explicação sobre estes dois parâmetros no subcapítulo 7.3. [12]

3.5 Análise FMECA

FMEA ou FMECA teve como origem um processo militar, intitulado de “Procedimentos para Executar um Modo de Falha, Efeitos e Criticidade”. Esta abordagem, é datada de 9 de novembro de 1949 e foi originalmente utilizada como técnica de confiabilidade para determinar o efeito do sistema e falhas de equipamento. As falhas foram classificadas de acordo com seu impacto sobre o sistema em causa e do pessoal de segurança. A análise FMECA foi desenvolvida e aplicada pela NASA em 1960 para melhorar e verificar a confiabilidade do *hardware* do programa espacial. Atualmente, FMEA é uma análise padrão bastante empregada na indústria automóvel. [12]

Posteriormente, FMEA surgiu em engenharia de sistemas, e é uma ferramenta amplamente utilizada para o controle de qualidade. Baseia-se em ferramentas como Análise de Risco, Análise de Causa e Efeito para tentar prever falhas antes que elas aconteçam. Originalmente utilizada em desenvolvimento de produto, é também eficaz em melhorar a conceção dos processos de negócios e sistemas. Inicialmente desenvolvido por engenheiros da indústria aeroespacial, Modo de Falha e Análise de Efeitos (FMEA) é uma metodologia de análise de potenciais falhas no processo de produção para que medidas de prevenção possam ser concebidas e aplicadas com sucesso. [12]

As ações recomendadas ou previsões são feitas para reduzir a probabilidade de o problema ocorrer, e mitigar o risco de este efetivamente ocorrer. FMEA determina, através

da análise de modos de falha, o efeito de cada uma delas e identifica os pontos críticos. Também pode classificar cada falha de acordo com a criticidade dela e sua probabilidade de ocorrência. FMECA é o resultado de duas etapas sendo elas o Modo de Falha e Análise dos Efeitos (FMEA), e Análise de Criticidade (CA). Esta técnica de análise assume atualmente uma ferramenta importante pois o FMEA fornece uma base para a identificação de causas do fracasso e para o respetivo desenvolvimento de ações preventivas e corretivas, identifica a confiabilidade e segurança dos componentes críticos, facilita a investigação de alternativas em todas as fases do projeto ou processo e fornece uma fundação para a manutenção, segurança, testabilidade, e análises de logística. [12]

Em anexo, no ANEXO E segue a análise FMECA feita ao caso de estudo deste trabalho onde são apresentadas as avarias identificadas, a sua causa e o seu efeito na área de produção.

3.6 Cálculo de Tempos

Os cálculos efetuados no próximo capítulo, são efetuados recorrendo às equações que vão ser abaixo descritas começando pela equação *MTTR ou Mean Time To Repair* que representa o tempo médio que demora a ser reposto o funcionamento da máquina após avaria.

$$MTTR = \frac{TTR}{n^{\circ} \text{ de avarias}}$$

Equação 6 - Tempo de Reparação

Onde no numerador temos o tempo gasto a reparar cada avaria (TTR) e é apresentado numa unidade temporal, neste caso horas e no denominador temos o número de vezes que a avaria ocorreu no período de tempo em estudo. Esta equação representa o tempo médio que demora até uma avaria estar resolvida e o sistema voltar ao normal funcionamento. [12]

Já MTBF, representa o tempo médio entre falhas, ou seja, representa o tempo médio deste que ocorreu uma falha até que volta a ocorrer a mesma falha e é representado pela Equação 8. [12]

$$MTBF = \frac{TTT - \text{Tempo de Paragem}}{n^{\circ} \text{ de avarias}}$$

Equação 7 - Tempo Médio Entre Falhas

Aqui, TTT representa o tempo total de trabalho dos equipamentos em estudo, o tempo de paragem é o tempo que demorou a reparação da avaria até à reposição total do sistema onde a soma dos dois representa o Tempo da Amostra. Tal como a expressão anterior, MTBF é também apresentado em horas. [12]

A disponibilidade resulta do quociente entre o tempo médio entre falhas, MTBF, e a soma do tempo médio entre falhas e o tempo médio de reparação e é dado em percentagem. É expressada pela equação 9. [12]

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

Equação 8 - Equação da Disponibilidade

A disponibilidade representa a capacidade, neste caso de equipamentos industriais, de estes estarem aptos a desempenharem sem quaisquer problemas as funções e tarefas para as quais foram concebidos.

A indisponibilidade é o complementar da disponibilidade, logo representa a percentagem de tempo em que os equipamentos não estão em condições de desempenhas as funções para as quais foram construídos e é calculado pela Equação 10. [12]

$$Indisponibilidade = 1 - Disponibilidade$$

Equação 9 - Indisponibilidade/Disponibilidade

Concluiu-se que para a máquina F01, temos uma indisponibilidade total de 0,3995%, o que traduzido para horas de trabalho dá 93 horas em que a máquina está parada por avaria.

Através de todos estes cálculos para todas as máquinas, chegou-se a um valor total de 613 horas de paragens não programadas, por avaria. Para uma melhor perceção do tempo que representa, podemos admitir que as máquinas estiveram paradas durante 25,54 dias, praticamente um mês de laboração. Os custos destas paragens são enormes, calculados mais à frente, sendo que pode-se imaginar as perdas que seriam para a empresa se as máquinas parassem estes 25,54 dias seguidos onde teríamos uma empresa com todos os custos operacionais a sugar recursos e sem o seu elemento principal em funcionamento que é a produção.

3.7 Análise de *Pareto*

O princípio de *Pareto*, comumente conhecido também por regra do 80-20, é uma técnica muito utilizada em controlos de qualidade bem como em produção de equipamentos para efeitos de controlo de *stock*. Este princípio diz que 80% das ocorrências num determinado evento advêm de 20% das causas, ou seja, por exemplo numa linha de produção como é o caso em estudo, 80% das causas de paragens não programadas ou avarias, advêm apenas de 20% do total das causas. E é isso que irá ser demonstrado de seguida.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

4 Desenvolvimento

4.1 Falhas Identificadas

Como foi já referido anteriormente, foi efetuado um estudo exaustivo das folhas de produção desde o dia 1 Janeiro de 2012 ao dia 31 de Dezembro de 2015 com o intuito de identificar as causas de paragens não programadas identificadas que ocorreram desde então dada a inexistência de um histórico de avarias na empresa. Com o cruzamento desta informação com alguns dados de faturação e contabilidade da empresa, pode-se chegar a uma mais ou menos precisa base de dados de tudo o que aconteceu em termos de avarias neste período em análise. Como tal, identifiquei 24 tipos de avarias diferentes que ocorreram nas 9 máquinas em estudo durante este período. A Tabela 3 resume todos os tipos de avarias identificadas sendo que as identifiquei individualmente por um número para serem melhor identificadas ao longo de todo o estudo.

TIPOS DE FALHAS	ID FALHA
Bomba hidráulica	F1
Motor da bomba hidráulica	F2
Fins de curso da porta	F3
Fins de curso de fecho da máquina	F4
Fins de curso dos robots	F5
Fins de curso do piston	F6
Ensaio fins de curso	F7
Automação/comandos	F8
Piston	F9
Queimador	F10
Cabaço/Cadinho	F11
Bomba de lubrificação	F12
Guias	F13
Eletricidade (Potência)	F14
Alimentador	F15
Óleo hidráulico + filtros	F16
Recosntrução de portas de segurança	F17
Contador de injeções	F18
Elementos mecânicos do Robot	F19
Válvula progressiva de fecho de máquina	F20
Pirómetro	F21
Encoder piston	F22
Varetas de nível de robot alimentador	F23
Mecanismos porta	F24

Tabela 3 - Resumo de Avarias Identificadas

Após este levantamento, através das mesmas folhas e registos de produção, pude fazer um levantamento também do tempo em que as máquinas estiveram paradas devido à respetiva falha ou avaria. Com estes dados, elaborei uma tabela resumida por máquina, onde identifiquei a data da falha e o tempo que a máquina esteve parada até resolução do problema como mostra a Tabela 4. Apenas apresentarei com maior pormenor os cálculos efetuados para a máquina F01, sendo que para as restantes foi utilizado o mesmo procedimento apresentando todos esses dados completos em anexo, no ANEXO A.

MÁQUINA F01			
ID AVARIA	TIPO DE PARAGEM/AVARIA	DATA	TEMPO DE PARAGEM (h)
F5	Fim de curso de robot	09/12/2015	1
F6	Ensaio de fins de curso	25/11/2015	1
F2	Reparação do motor elétrico da bomba hidráulica	10/09/2015	16
F12	Avaria de bomba de lubrificação	05/08/2015	2
F11	Substituição de cadinho	16/07/2015	3
F5	Fim de curso de robot	20/05/2015	1
F10	Avaria no queimador	14/04/2015	3
F8	Avaria no comando do fecho automático	16/01/2015	2
F1	Reparação de bomba hidráulica	19/01/2015	5
F15	Avaria no alimentador	15/01/2015	2
F7	Ensaio de fins de curso	07/01/2015	1
F4	Avaria no fim de curso de fecho da máquina	05/01/2015	2
F16	Substituição de óleo hidráulico	05/01/2015	4
F24	Mecanismo fecho da porta	06/12/2014	2
F5	Fim de curso de robot	03/02/2014	1
F24	Mecanismo fecho da porta	04/04/2014	4
F24	Reconstrução de segurança de portas	16/05/2014	1
F7	Ensaio de fins de curso	11/07/2014	1
F1	Reparação de bomba hidráulica	08/09/2014	3
F16	Limpeza de circuito hidráulico	08/09/2014	3
F7	Ensaio de fins de curso	12/11/2014	1
F4	Avaria no fim de curso de fecho da máquina	04/12/2013	2
F14	Substituição de contactor de alimentação à bomba hidráulica	01/10/2013	2
F18	Substituição do contador de injeções	28/09/2013	1
F8	Avaria no comando do fecho automático	13/07/2013	1
F15	Avaria no alimentador	08/04/2013	3
F16	Substituição de óleo hidráulico	12/03/2013	4
F24	Mecanismo fecho da porta	02/02/2013	1
F14	Eletricidade Potência	14/12/2012	2
F11	Substituição de cadinho	18/10/2012	3
F24	Mecanismo fecho da porta	22/09/2012	3
F5	Fim de curso de robot	27/07/2012	1
F7	Ensaio de fins de curso	05/05/2012	1
F12	Avaria de bomba de lubrificação	25/02/2012	2
F13	Guia inferior direita partida	21/01/2012	8

Tabela 4 - Resumo de Avarias com datas e tempo de paragem da máquina F01

4.2 Cálculo de Tempos

Para que o levantamento de informação contida na Tabela 3 faça sentido, apurei então o tempo total, de 1 Janeiro de 2012 ao dia 31 de Dezembro de 2015, em que as máquinas deveriam ter trabalhado sem quaisquer problemas, em teoria.

Então, junto da administração, através de registos de produção conseguiu-se apurar um tempo de trabalho previsto, nestes 4 anos, de 970 dias o que corresponde a 23280 horas de trabalho.

Após todo este trabalho de levantamento de informação, como já foi referido anteriormente apenas apresentarei em relatório os dados relativos à máquina F01 sendo que estes restantes estão presentes no ANEXO B, foram calculados dados estatísticos fundamentais para conhecermos em pormenor a manutibilidade dos equipamentos, o estado em que se encontram e o que podem representar em termos de produtividade para a empresa. A Tabela 5 apresenta então os resultados de todos os cálculos efetuados.

AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL
F1	0,034%	8	11636	4	2	8,6%
F2	0,069%	16	23264	16	1	17,2%
F4	0,017%	4	11638	2	2	4,3%
F5	0,017%	4	5819	1	4	4,3%
F6	0,004%	1	23279	1	1	1,1%
F7	0,017%	4	5819	1	4	4,3%
F8	0,013%	3	11638,5	2	2	3,2%
F10	0,013%	3	23277	3	1	3,2%
F11	0,026%	6	11637	3	2	6,5%
F12	0,017%	4	11638	2	2	4,3%
F13	0,034%	8	23272	8	1	8,6%
F14	0,017%	4	11638	2	2	4,3%
F15	0,021%	5	11637,5	3	2	5,4%
F16	0,047%	11	7756,3	4	3	11,8%
F18	0,004%	1	23279	1	1	1,1%
F24	0,047%	11	4653,8	2	5	11,8%

Tabela 5 - Indisponibilidade Máquina F01

4.2.1 Análise de Pareto por Máquina

Tal como foi já referido anteriormente, apenas vão ser apresentados os procedimentos e cálculos para a máquina F01, sendo que as restantes serão apresentadas como ANEXO C no presente relatório. Então, para a máquina F01, foi elaborado uma tabela resumo com a

informação das avarias detetadas na mesma bem como o cálculo das indisponibilidades de cada uma como mostra a Tabela 6.

AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F2	17,2%	17,2%
F16	11,8%	29,0%
F24	11,8%	40,9%
F1	8,6%	49,5%
F13	8,6%	58,1%
F11	6,5%	64,5%
F15	5,4%	69,9%
F4	4,3%	74,2%
F5	4,3%	78,5%
F7	4,3%	82,8%
F12	4,3%	87,1%
F14	4,3%	91,4%
F8	3,2%	94,6%
F10	3,2%	97,8%
F6	1,1%	98,9%
F18	1,1%	100,0%

Tabela 6 - Percentil de cada avaria na máquina F01

Na Tabela 6, foi calculada então a indisponibilidade individual de cada avaria e reorganizadas de forma decrescente. Depois, através para a correta aplicação e organização do princípio de *Pareto*, foi calculado o acumulado da indisponibilidade, ou seja, à indisponibilidade anterior foi somada a indisponibilidade seguinte tendo no fim de perfazer um total de indisponibilidade para esta máquina, como demonstra a coluna da direita.

Daqui, já pode ser elaborado o diagrama de *Pareto* que consiste num gráfico de colunas que ordena então as frequências das ocorrências mais significativa para a menos significativa o que permite visualizar mais facilmente quais as avarias mais críticas deste estudo e que devem ser priorizadas relativamente às restantes, ou seja, existem em número muitos problemas com menor importância que outros em menor número mas de maior gravidade.

O gráfico da Figura 16 representa então o Diagrama de *Pareto* da máquina F01.

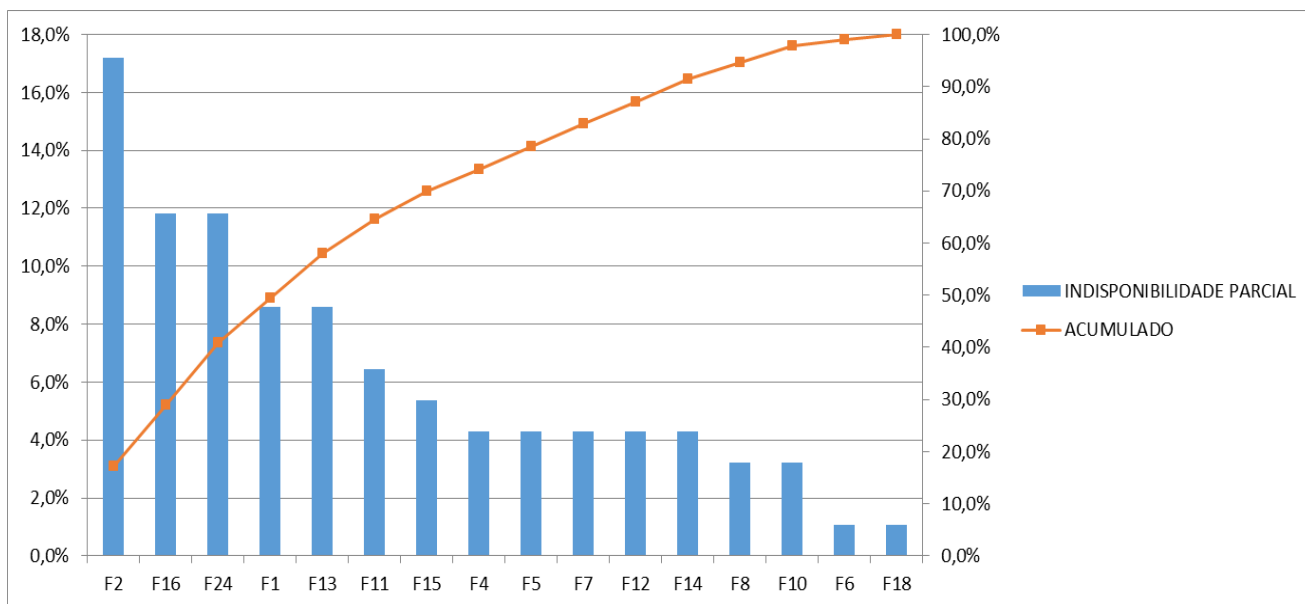


Figura 16 - Diagrama de Pareto Máquina F01

Analisando o gráfico da Figura 16, pode-se concluir rapidamente que existem pelo menos 5 avarias diferentes que são responsáveis por cerca de metade do tempo total de paragens por avaria da máquina F01 sendo elas as avarias F2, F16, F24, F1 e F13. Se a empresa se debruçar prioritariamente nessas avarias, verá o tempo de paragem originado pelas mesmas, reduzido em cerca de 50%.

4.2.2 Análise de *Pareto* Global

Após terem sido efetuados estes cálculos individualmente para todas as máquinas em estudo, foram efetuados os mesmos a nível global ao conjunto de todas as avarias de todas as máquinas somadas como mostra a Tabela 7.

INDISPONIBILIDADE DO TOTAL DE FALHAS							
AVARIA	NÚMERO TOTAL DE FALHAS	TEMPO TOTAL DE PARAGEM (h)	MTBF (h)	MTTR (h)	INDISPONIBILIDADE	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F1	14	35	1660,4	2,50	0,15%	5,7%	5,7%
F2	2	21	11629,5	10,50	0,09%	3,4%	9,2%
F3	4	11	5817,3	2,75	0,05%	1,8%	11,0%
F4	16	35	1452,8	2,19	0,15%	5,7%	16,7%
F5	10	12	2326,8	1,20	0,05%	2,0%	18,7%
F6	10	21	2325,9	2,10	0,09%	3,4%	22,1%
F7	11	28	2113,8	2,55	0,12%	4,6%	26,7%
F8	17	34	1367,4	2,00	0,15%	5,6%	32,2%
F9	4	16	5816,0	4,00	0,07%	2,6%	34,9%
F10	26	53	893,3	2,04	0,23%	8,7%	43,5%
F11	13	37	1787,9	2,85	0,16%	6,1%	49,6%
F12	9	13	2585,2	1,44	0,06%	2,1%	51,7%
F13	4	14	5816,5	3,50	0,06%	2,3%	54,0%
F14	14	35	1660,4	2,50	0,15%	5,7%	59,7%
F15	6	18	3877,0	3,00	0,08%	2,9%	62,7%
F16	7	25	3322,1	3,57	0,11%	4,1%	66,8%
F17	1	1	23279,0	1,00	0,00%	0,2%	66,9%
F18	1	1	23279,0	1,00	0,00%	0,2%	67,1%
F19	37	104	626,4	2,81	0,45%	17,0%	84,1%
F20	7	15	3323,6	2,14	0,06%	2,5%	86,6%
F21	4	8	5818,0	2,00	0,03%	1,3%	87,9%
F22	2	2	11639,0	1,00	0,01%	0,3%	88,2%
F23	1	2	23278,0	2,00	0,01%	0,3%	88,5%
F24	31	70	748,7	2,26	0,30%	11,5%	100,0%

Tabela 7 - Análise de Pareto Global

Aqui utilizou-se o mesmo procedimento feito para cada máquina individualmente sendo que as avarias foram reorganizadas de modo a ficarem ordenadas da que tem um maior peso em termos de avaria para a que tem um menor peso tal como mostra a Tabela 8.

AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F19	17,0%	17,0%
F24	11,5%	28,5%
F10	8,7%	37,2%
F11	6,1%	43,2%
F1	5,7%	48,9%
F4	5,7%	54,7%
F14	5,7%	60,4%
F8	5,6%	66,0%
F7	4,6%	70,5%
F16	4,1%	74,6%
F2	3,4%	78,1%
F6	3,4%	81,5%
F15	2,9%	84,5%
F9	2,6%	87,1%
F20	2,5%	89,5%
F13	2,3%	91,8%
F12	2,1%	93,9%
F5	2,0%	95,9%
F3	1,8%	97,7%
F21	1,3%	99,0%
F22	0,3%	99,3%
F23	0,3%	99,7%
F17	0,2%	99,8%
F18	0,2%	100,0%

Tabela 8 - Percentil de avarias global

De seguida, foi também elaborado o diagrama de *Pareto*, de modo a permitir analisar e concluir quais as avarias que mais peso e impacto têm em toda a estrutura da empresa. Este diagrama permite deste modo identificar as avarias que necessitam de ser priorizadas em termos de serem solucionadas ou que sejam necessariamente alvo de uma manutenção mais severa.

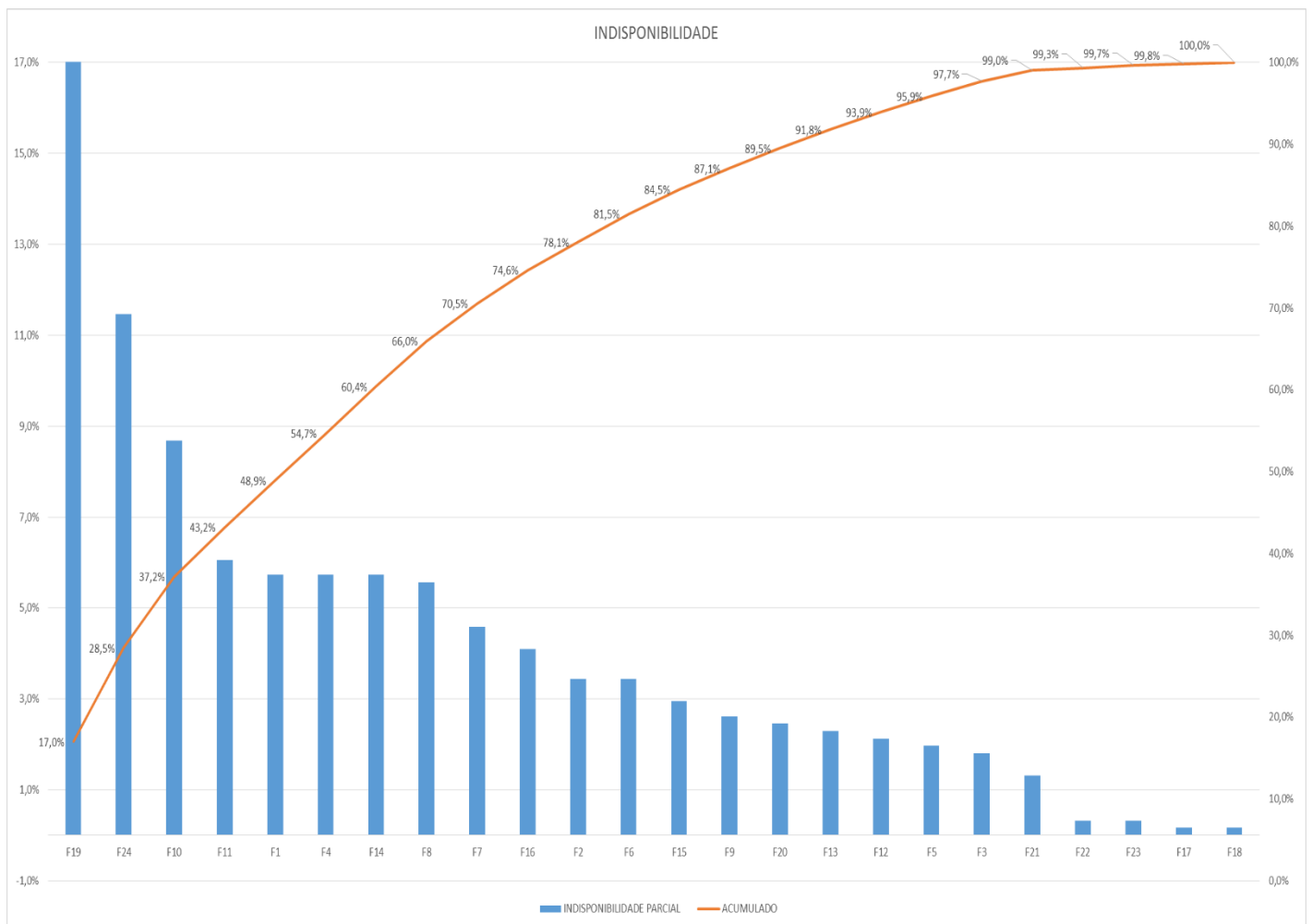


Figura 17 - Diagrama de Pareto Global

Ao analisar o gráfico da Figura 17, ao contrário da análise que foi feita à máquina F01, ao serem analisadas as avarias de um modo global à totalidade das máquinas em estudo, conclui-se que temos outras 5 avarias responsáveis por pelo menos metade das avarias das máquinas responsáveis pela produção de peças da empresa sendo elas a avaria F19, F24, F10, F11 e F1. Esta informação obtida, dá a informação que estas avarias terão de ser as primeiras a ser alvo de intervenção por parte da manutenção e de um estudo para tornar eliminar ou melhorar a causa destas avarias tentando tornar o sistema mais robusto. Assim, conseguiríamos ter equipamentos mais robustos, com maiores tempos de trabalho sem paragens não programadas poupando assim recursos direta e indiretamente como será demonstrado no capítulo seguinte.

5 Análise de Custos

5.1 Competitividade pelos Custos

Com a evolução da tecnologia e com o passar dos anos, todos os mercados estão a ficar cada vez mais agressivos sendo que em praticamente todos os setores existe uma crescente preocupação no controlo de custos. Podemos verificar esta tendência desde a indústria de produção, ao terciário, prestação de serviços e até mesmo, e principalmente nas habitações de cada um. É aqui mesmo que começa essa corrente que desencadeia um processo natural de escolha pelo melhor e mais barato possível. O consumidor final está cada vez mais preocupado com a qualidade dos produtos que pretende mas tendo sempre como foco principal o que os produtos e serviços lhe vão custar. Isto provoca, como já foi referido, o desencadear de uma luta por parte da indústria e prestadores de serviços, um esforço constante em produzir e servir com a maior e melhor qualidade no mercado em que se inserem mas com um custo cada vez mais inferior tornando o produto final mais competitivo e apelativo.

Assim o controlo de custos assume, hoje em dia, um dos principais focos de preocupação que se baseia em ter de se produzir mais com os mesmos recursos e no mesmo tempo que se traduz também em produzir o mesmo em menos tempo poupando assim recursos.

Neste capítulo, serão analisados os custos em termos de manutenção, a falta dela e os custos de aquisição dos elementos essenciais para o bom funcionamento das máquinas.

Com foco nas várias avarias identificadas como maiores causadoras de paragens não programadas das várias máquinas em estudo, serão apresentados custos de aquisição de peças novas, um custo estimado de manutenção e/ou substituição preventiva dessas peças e um custo de paragem não programada causada por avaria dessas peças.

5.2 Análise de Custos por Máquina

Tal como foi feito anteriormente para a análise das avarias de todas as máquinas, apenas irá ser apresentado o estudo dos custos para a máquina F01 sendo que as restantes são exibidas como ANEXO D.

Foi efetuado um levantamento junto da administração e após consulta de dados financeiros e contabilísticos, do custo para a empresa de cada elemento que provocam as avarias identificadas anteriormente, sendo apresentados na Tabela 9.

CUSTOS ELEMENTOS DE SUBSTITUIÇÃO			
TIPOS DE FALHAS	ID FALHA	MODELO	CUSTO UNITÁRIO
Bomba hidráulica	F1	Vários	700 €
Motor da bomba hidráulica	F2	Vários	1 000 €
Fins de curso da porta	F3	Siemens 3SE3 120-1J	34 €
Fins de curso de fecho da máquina	F4	Telemecanique XCK-M	31 €
Fins de curso dos robots	F5	Siemens 3SE3 120-1J	34 €
Fins de curso do piston	F6	Telemecanique XCK-M	31 €
Ensaio fins de curso	F7	Mão de Obra/h	5 €
Automação/comandos	F8	Vários	100 €
Piston + camisa	F9	Aço	1 200 €
Queimador	F10	Vários	2 500 €
Cabaço/Cadinho	F11	Vários	500 €
Bomba de lubrificação	F12	Vários	300 €
Guias	F13	Aço	5 000 €
Eletricidade (Potência)	F14	Schneider/Telemecanique	64 €
Alimentador	F15	Vários	600 €
Óleo hidráulico + filtros	F16	Vários	320 €
Recosntrução de portas de segurança	F17	Serralharia	7 €
Contador de injeções	F18	Hasco	38 €
Elementos mecânicos do Robot	F19	Vários	1 720 €
Válvula progressiva de fecho de máquina	F20	Vários	100 €
Pirómetro	F21	Trotec	20 €
Encoder piston	F22	Resitec	160 €
Varetas de nível de robot alimentador	F23	Vários	100 €
Mecanismos porta	F24	Serralharia	650 €

Tabela 9 - Custo de Aquisição de Peças

Para além do custo de aquisição de peças novas, existem muitos trabalhos efetuados com mão-de-obra própria de empresa sendo que é necessário adicionar ao valor de aquisição das mesmas, o custo do operário que está a efetuar a reparação ou substituição bem como o preço das máquinas à hora uma vez que ao custo total de substituição ou reparação, tem de acrescer o preço de hora do tempo que a máquina não está a produzir por uma paragem não programada. Todos os valores de mão-de-obra das várias especialidades são então apresentados abaixo na Tabela 10, sendo então de 3,13€/hora o preço de um técnico

especializado em eletricidade e automação, 4,55€ o valor de hora de um operador das máquinas de injeção e 6,82 o valor de hora da secção de serralharia da empresa.

MÃO DE OBRA		
ESPECIALIDADE	CUSTO MENSAL	CUSTO HORA
Eletricista	550 €	3,13 €
Técnico hidráulica	550 €	-
Operador máquina	800 €	4,55 €
Serralharia	1 200 €	6,82 €
Preço médio das máquinas/h	55 €	-

Tabela 10 - Custos de Mão-de-obra

Na Tabela 11 abaixo apresentada, segue então o resumo de custos provocados pelas paragens não programadas referentes à máquina F01. É apresentado então o custo de paragem da máquina que resulta do número de horas que a máquina parou por cada uma das avarias identificadas multiplicado pelo preço de hora de trabalho de cada máquina que é de 55€, como foi já acima referido. Foi calculado também o custo de reparação de cada avaria onde se considerou que existiu uma substituição da peça relativa à avaria em causa sendo que ao valor da mesma foi adicionado o valor de mão-de-obra do operador responsável pela resolução da avaria multiplicado pelo número médio de horas que demora a resolver a mesma até a máquina ficar novamente operacional e pela frequência com que a mesma avaria ocorreu.

De seguida foi calculado o valor de uma manutenção preventiva efetuada de modo programado onde apenas é tido em conta o valor de aquisição da peça nova e o tempo que o operário demora a resolver a avaria multiplicado pelo seu valor de mão-de-obra.

Por fim é apresentado o custo global de todas as avarias de cada máquina sendo que para este somatório apenas entram os custos de paragem da máquina e de reparação por avaria e paragem não programada.

F01									
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQUÊNCIA DE AVARIA	CUSTO DE PARAGEM	CUSTO DE REPARAÇÃO	CUSTO MAN. PREV	CUSTO DE PARAGEM TOTAL POR AVARIA
F1	0,00034	8	11636,0	4	2	220 €	1 656,4 €	718,2 €	20 978,68 €
F2	0,00069	16	23264,0	16	1	880 €	1 952,7 €	1 072,7 €	
F4	0,00017	4	11638,0	2	2	110 €	190,3 €	40,1 €	
F5	0,00017	4	5819,0	1	4	55 €	208,9 €	38,5 €	
F6	0,00004	1	23279,0	1	1	55 €	90,6 €	35,6 €	
F7	0,00017	4	5819,0	1	4	55 €	91,4 €	9,1 €	
F8	0,00013	3	11638,5	1,50	2	83 €	291,9 €	104,7 €	
F10	0,00013	3	23277,0	3	1	165 €	2 678,6 €	2 513,6 €	
F11	0,00026	6	11637,0	3	2	165 €	1 192,3 €	513,6 €	
F12	0,00017	4	11638,0	2	2	110 €	728,2 €	309,1 €	
F13	0,00034	8	23272,0	8	1	440 €	5 476,4 €	5 036,4 €	
F14	0,00017	4	11638,0	2	2	110 €	255,9 €	72,9 €	
F15	0,00021	5	11637,5	2,50	2	137,5 €	1 360,2 €	611,4 €	
F16	0,00047	11	7756,3	3,67	3	201,7 €	1 211,7 €	336,7 €	
F18	0,00004	1	23279,0	1	1	55 €	97,4 €	42,4 €	
F24	0,00047	11	4653,8	2,20	5	121 €	3 496,0 €	675,0 €	

Tabela 11 - Custos associados à máquina F01

5.3 Análise de Custos Global

Após os cálculos efetuados individualmente para cada máquina, foi efetuado o somatório dos custos por avaria com o objetivo de se identificar a avaria que mais impacto financeiro tem na empresa e que mais atenções deverá ser alvo, somatório esse apresentado pela Tabela 12. São então apresentados os somatórios dos custos de paragem por cada avaria, os custos de reparação ou substituição de cada elemento que provoca cada tipo de avaria e o custo de ser efetuada uma manutenção/reparação preventiva. Para o apuramento dos custos totais por avaria, apenas foram tidas em conta as parcelas referentes aos custos de paragem e os custos de reparação ou substituição. Foi também calculado o peso percentual que cada uma das avarias representa na folha financeira da empresa.

CUSTO TOTAL POR AVARIA					
ID AVARIA	CUSTO DE PARAGEM	CUSTO DE REPARAÇÃO/SUBSTITUIÇÃO	CUSTO DE MAN. PREV.	CUSTO TOTAL	CUSTO %
F1	957,9	6954,1	4979,2	7912,0	0,035
F2	1155,0	2975,5	2095,5	4130,5	0,018
F3	605,0	185,7	185,7	790,7	0,003
F4	889,2	765,9	321,9	1655,1	0,007
F5	256,7	540,4	154,0	797,1	0,004
F6	660,0	429,9	240,8	1089,9	0,005
F7	760,8	470,6	85,6	1231,4	0,005
F8	907,5	1961,7	851,6	2869,2	0,013
F9	880,0	4872,7	4872,7	5752,7	0,025
F10	1133,9	65488,4	22593,7	66622,3	0,294
F11	1100,0	6998,2	3590,9	8098,2	0,036
F12	467,5	2379,1	1538,6	2846,6	0,013
F13	550,0	20503,6	10045,5	21053,6	0,093
F14	1008,3	1383,0	530,3	2391,3	0,011
F15	797,5	3929,3	2465,9	4726,8	0,021
F16	889,2	2555,3	1353,5	3444,5	0,015
F17	55,0	13,6	11,4	68,6	0,000
F18	55,0	97,4	42,4	152,4	0,001
F19	1406,6	64821,8	14050,6	66228,4	0,292
F20	476,7	802,3	459,1	1278,9	0,006
F21	440,0	134,5	134,5	574,5	0,003
F22	55,0	342,7	171,4	397,7	0,002
F23	110,0	113,6	113,6	223,6	0,001
F24	1080,8	21066,5	6073,3	22147,2	0,098

Tabela 12 - Custos Globais por Avaria

Por fim, com o objetivo de melhor se perceber o peso que cada avaria tem, no que a custos diz respeito, nos custos globais das avarias, foi efetuado também uma análise de *Pareto* que é resumida pela Tabela 13.

CUSTO TOTAL POR AVARIA		
ID AVARIA	CUSTO %	ACUMULADO
F10	29,88%	29,9%
F19	29,81%	59,7%
F24	9,92%	69,6%
F13	9,28%	78,9%
F11	3,50%	82,4%
F1	3,34%	85,7%
F9	2,59%	88,3%
F15	2,02%	90,3%
F2	1,46%	91,8%
F16	1,46%	93,3%
F8	1,21%	94,5%
F12	1,18%	95,7%
F14	0,93%	96,6%
F4	0,70%	97,3%
F20	0,58%	97,8%
F6	0,47%	98,3%
F7	0,42%	98,7%
F3	0,36%	99,1%
F5	0,29%	99,4%
F21	0,26%	99,6%
F22	0,18%	99,8%
F23	0,10%	99,9%
F17	0,03%	100,0%
F18	0,04%	100,0%

Tabela 13 - Percentil Acumulado por avaria

Por fim, o gráfico da Figura 18 representa quais as avarias mais significativas do ponto financeiro.

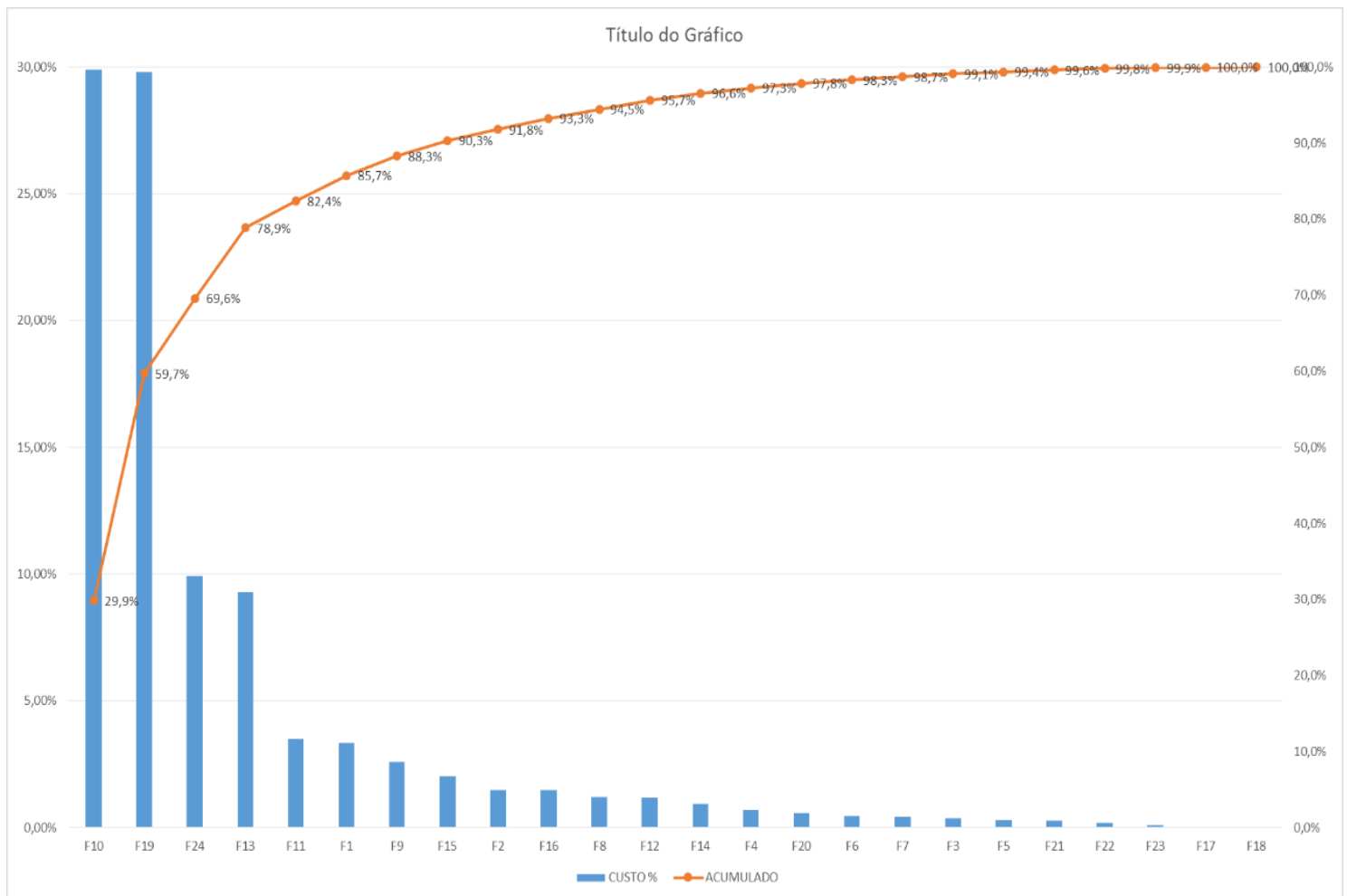


Figura 18 - Análise de Pareto Global por Avaria

Após analisar o diagrama de *Pareto* representado pelo gráfico da Figura 18, podemos concluir que temos apenas dois tipos de avarias que são responsáveis por cerca de 60% do valor total calculado de gastos que a empresa tem com paragens não programadas por avaria. Isto significa que o foco por parte da manutenção da mesma terá de ser em primeiro lugar e com maior atenção nas avarias F10 e F19, que são respetivamente avarias no queimador nas fornalhas responsáveis por fazer passar a matéria-prima do estado sólido para o estado líquido e avarias relacionadas com os robots que alimentam as máquinas. Se a empresa conseguir reduzir em 50% a ocorrência destes dois tipos de avarias, estará a reduzir em cerca de 30% os custos globais em avarias.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

6 Otimização da manutenção

6.1 Age-Based Maintenance

Uma manutenção preventiva eficaz, é aquela que rediz as paragens não programadas por avaria quase ou praticamente a zero. Um dos grandes problemas com que as empresas se deparam é como saber qual é o momento certo para efetuar a manutenção ou substituição de determinados componentes de modo a que estes não deixem o sistema em iminente paragem ou avaria. Existem dados de fabricantes que dizem que determinado elemento só pode operar em condições nominais durante um intervalo de tempo ou passadas determinadas operações sendo aqui a grande questão. Será economicamente viável a substituição dos vários elementos após o cumprimento das horas limites de funcionamento ou será que estes ainda poderão desempenhar as suas funções em perfeitas condições durante mais algum tempo? Não estaremos a desperdiçar recursos ao efetuar esta manutenção baseada no tempo de vida útil estimado? Este tipo de atos pode ser prejudicial para a saúde financeira da empresa uma vez que está a alocar recursos fora de *timing* e desnecessariamente. [13]

Para dar resposta a estas grandes interrogações, existem várias técnicas sendo a mais adequada para o caso de estudo o “*Age-Based Maintenance/Replacement*”, ou seja, manutenção ou reparação baseada na idade do equipamento. [13]

A determinação do tempo de substituição ótimo de um equipamento ou um elemento constituinte em sistemas designados de críticos é um problema importante na engenharia de confiabilidade. Existe o constante risco de por um lado o sistema começar a funcionar mal por falta de manutenção ou substituição de determinado elemento mas também o risco de uma substituição precoce e desnecessária capaz de aplicar custos elevados a uma empresa. [13]

Propõe-se aqui uma metodologia que permite determinar o tempo ideal de substituição de um elemento de um sistema e que permite determinar o tempo ideal a programar a manutenção preventiva cuja probabilidade de falha é então descrita por uma distribuição de Weibull.

6.2 Redundância de Sistemas

Qualquer sistema, é constituído por diversos elementos que podem ser considerados como funcionando em série, em paralelo ou de forma combinada de série-paralelo.

Como em qualquer sistema série, existem falhas a partir do momento em que apenas um dos elementos constituintes tenha uma falha ao invés de um sistema paralelo que só falha quando existe a falha de todos os seus elementos em simultâneo como demonstra a Figura 13. [13]

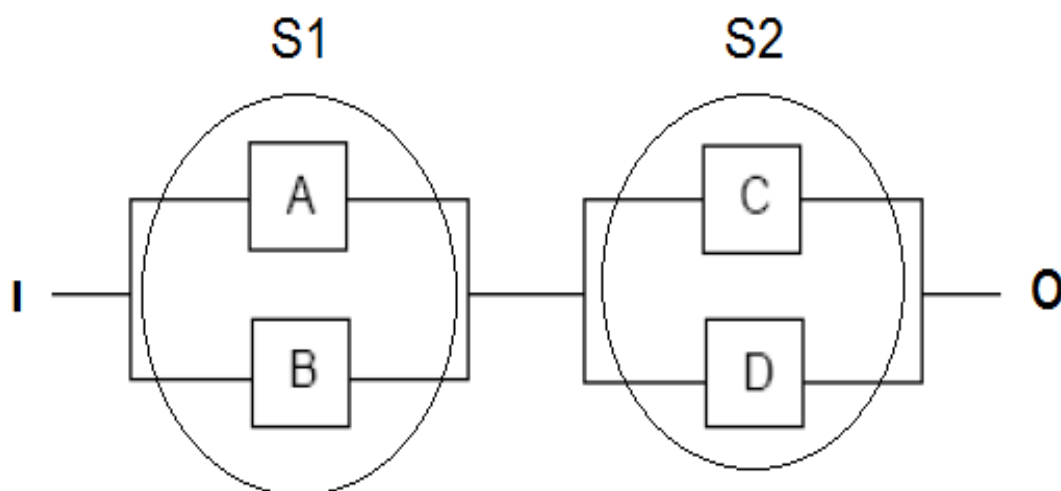


Figura 19 - Redundância Paralelo e Redundância Série num sistema S

Aqui podemos ver que o subsistema S1 só falhará de ambos os elementos A e B falharem o mesmo acontecendo com o subsistema S2 que apenas falha caso os elementos C e D falharem por se tratarem de subsistemas em paralelo. Já a entrada I, apenas se tornará em saída O caso os subsistemas S1 e S2 funcionem sempre os dois. Caso apenas um deles falhe, a saída O não concretizará pois os subsistemas S1 e S2 estão em série. [13]

Um sistema série, pelo próprio nome, é um sistema com uma fiabilidade muito mais baixa que um sistema paralelo. Por este motivo, é comum durante a conceção de um sistema aumentar a sua fiabilidade até valores próximos de 100% optando pela montagem de elementos em paralelo com os elementos em série menos fiáveis do sistema. Através desta abordagem, podemos chamar a um sistema concebido com ideias assentes neste princípio, um sistema redundante. [13]

Embora um componente de um sistema necessite de provisão de redundância, restrições de espaço, peso ou de outra origem, impedem que o componente redundante possa

ser instalado de modo ativo, ou seja, em operação conjunta com o componente primário. Nestes casos, a solução consiste em instalar o componente redundante em paralelo-passivo, ou seja, fazer com que este só entre em funcionamento caso o componente primário falhe.

Como a redundância em paralelo é a que maior fiabilidade apresenta e introduz a um sistema, será apenas esta estudada neste trabalho sendo que será também apresentado um resultado com redundância série como justificação prática desta escolha. [13]

De uma forma teórica, este sistema S consiste em considerar um sistema com n elementos de tal forma que $S = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ formada por um sistema paralelo redundante. Se o sistema exige k componentes a funcionar para que o sistema não pare, a paragem do mesmo ocorre quando $n-k+1$ componentes falham. [13]

Para o correto cálculo da redundância, temos de ter em conta toda a componente de custos sendo que se dividem em três grupos sendo eles os custos de aquisição que é o custo fixo médio da posse de um componente sendo normalmente designado por C_{ai} . Temos o custo de reparação preventiva que consiste no custo médio de reparar os defeitos de determinada falha de um componente antes de uma falha incluindo todos os materiais e os custos do trabalho. Teremos de considerar também os custos de reparação da falha que representa o custo médio da ocorrência de uma falha em pleno serviço. Este custo inclui o custo de reparar completamente de aquisição de componentes novos para além de todos os custos de mão-de-obra e de tempo de paragem do processo sendo perda de produção, materiais, etc. [13]

Por fim, temos de ter em conta também os vários fatores que caracterizam a curva da taxa de avaria segundo a distribuição de *Weibull* sendo eles o fator escala (η), fator forma (β) sendo que para este fator forma, foi consultada uma tabela com valores médios segundo uma aproximação de *Weibull* uma vez que cada elemento tem um valor de β diferente sendo que recorri para este estudo à Tabela 14.

A Tabela 14 representa um excerto de uma base de dados de valores de β para variados elementos constituintes da mecânica, eletricidade, etc. [14]

De referir que esta tabela foi elaborada pela empresa Barringer & Associates, Inc. que tem como negócio a consultoria de confiança para resolver estas questões de confiabilidade em indústrias que utilizam engenharia, fabricação e a especialização em negócios, com base assente em conceitos de engenharia e com bases de dados e registos alargados que permitem

ser uma razoável aproximação. Contudo estes valores utilizados são muito gerais ao componentes podendo na realidade diferir um pouco.

Todos os cálculos referentes aos custos já foram realizados e apresentados no capítulo 8.

Item	Beta Values (Weibull Shape Factor)			Eta Values (Weibull Characteristic Life--hours)		
	Low	Typical	High	Low	Typical	High
Components						
Ball bearing	0.7	1.3	3.5	14,000	40,000	250,000
Roller bearings	0.7	1.3	3.5	9,000	50,000	125,000
Sleeve bearing	0.7	1	3	10,000	50,000	143,000
Belts, drive	0.5	1.2	2.8	9,000	30,000	91,000
Bellows, hydraulic	0.5	1.3	3	14,000	50,000	100,000
Bolts	0.5	3	10	125,000	300,000	100,000,000
Clutches, friction	0.5	1.4	3	67,000	100,000	500,000
Clutches, magnetic	0.8	1	1.6	100,000	150,000	333,000
Couplings	0.8	2	6	25,000	75,000	333,000
Couplings, gear	0.8	2.5	4	25,000	75,000	1,250,000
Cylinders, hydraulic	1	2	3.8	9,000,000	900,000	200,000,000
Diaphragm, metal	0.5	3	6	50,000	65,000	500,000
Diaphragm, rubber	0.5	1.1	1.4	50,000	60,000	300,000
Gaskets, hydraulics	0.5	1.1	1.4	700,000	75,000	3,300,000
Filter, oil	0.5	1.1	1.4	20,000	25,000	125,000
Gears	0.5	2	6	33,000	75,000	500,000
Impellers, pumps	0.5	2.5	6	125,000	150,000	1,400,000
Joints, mechanical	0.5	1.2	6	1,400,000	150,000	10,000,000
Knife edges, fulcrum	0.5	1	6	1,700,000	2,000,000	16,700,000
Liner, recip. comp. cyl.	0.5	1.8	3	20,000	50,000	300,000
Nuts	0.5	1.1	1.4	14,000	50,000	500,000
"O"-rings, elastomeric	0.5	1.1	1.4	5,000	20,000	33,000
Packings, recip. comp. rod	0.5	1.1	1.4	5,000	20,000	33,000
Pins	0.5	1.4	5	17,000	50,000	170,000
Pivots	0.5	1.4	5	300,000	400,000	1,400,000
Pistons, engines	0.5	1.4	3	20,000	75,000	170,000
Pumps, lubricators	0.5	1.1	1.4	13,000	50,000	125,000
Seals, mechanical	0.8	1.4	4	3,000	25,000	50,000
Shafts, cent. pumps	0.8	1.2	3	50,000	50,000	300,000
Springs	0.5	1.1	3	14,000	25,000	5,000,000
Vibration mounts	0.5	1.1	2.2	17,000	50,000	200,000
Wear rings, cent. pumps	0.5	1.1	4	10,000	50,000	90,000
Valves, recip. comp.	0.5	1.4	4	3,000	40,000	80,000
Machinery Equipment						
Circuit breakers	0.5	1.5	3	67,000	100,000	1,400,000
Compressors, centrifugal	0.5	1.9	3	20,000	60,000	120,000
Compressor blades	0.5	2.5	3	400,000	800,000	1,500,000
Compressor vanes	0.5	3	4	500,000	1,000,000	2,000,000
Diaphragm couplings	0.5	2	4	125,000	300,000	600,000
Gas turb. comp. blades/vanes	1.2	2.5	6.6	10,000	250,000	300,000
Gas turb. blades/vanes	0.9	1.6	2.7	10,000	125,000	160,000
Motors, AC	0.5	1.2	3	1,000	100,000	200,000
Motors, DC	0.5	1.2	3	100	50,000	100,000
Pumps, centrifugal	0.5	1.2	3	1,000	35,000	125,000
Steam turbines	0.5	1.7	3	11,000	65,000	170,000
Steam turbine blades	0.5	2.5	3	400,000	800,000	1,500,000
Steam turbine vanes	0.5	3	3	500,000	900,000	1,800,000
Transformers	0.5	1.1	3	14,000	200,000	14,200,000
Instrumentation						
Controllers, pneumatic	0.5	1.1	2	1,000	25,000	1,000,000
Controllers, solid state	0.5	0.7	1.1	20,000	100,000	200,000
Control valves	0.5	1	2	14,000	100,000	333,000
Motorized valves	0.5	1.1	3	17,000	25,000	1,000,000
Solenoid valves	0.5	1.1	3	50,000	75,000	1,000,000
Transducers	0.5	1	3	11,000	20,000	90,000
Transmitters	0.5	1	2	100,000	150,000	1,100,000
Temperature indicators	0.5	1	2	140,000	150,000	3,300,000
Pressure indicators	0.5	1.2	3	110,000	125,000	3,300,000
Flow instrumentation	0.5	1	3	100,000	125,000	10,000,000
Level instrumentation	0.5	1	3	14,000	25,000	500,000
Electro-mechanical parts	0.5	1	3	13,000	25,000	1,000,000
Static Equipment						
Boilers, condensers	0.5	1.2	3	11,000	50,000	3,300,000
Pressure vessels	0.5	1.5	6	1,250,000	2,000,000	33,000,000
Filters, strainers	0.5	1	3	5,000,000	5,000,000	200,000,000
Check valves	0.5	1	3	100,000	100,000	1,250,000
Relief valves	0.5	1	3	100,000	100,000	1,000,000
Service Liquids						
Coolants	0.5	1.1	2	11,000	15,000	33,000
Lubricants, screw compr.	0.5	1.1	3	11,000	15,000	40,000
Lube oils, mineral	0.5	1.1	3	3,000	10,000	25,000
Lube oils, synthetic	0.5	1.1	3	33,000	50,000	250,000
Greases	0.5	1.1	3	7,000	10,000	33,000

Tabela 14 - Base de dados de Weibull

A Tabela 14 apresenta também valores estimados limites e médios de tempos de vida útil dos vários componentes apresentados.

6.3 Fator Forma e Fator Escala

No subcapítulo anterior foi referido um fator de forma e um fator de escala com parâmetros que definem a curva de um modelo fiabilísticos com uma distribuição de *Weibull*. Iremos analisar aqui com mais detalhe o que significam de facto estes dois parâmetros começando pelo fator de escala. [15]

O fator de escala, η , corresponde ao valor associado ao tempo de vida de um elemento sendo que podemos associar o fator escala a um nível de maturação do sistema como infância caso o valor de η seja inferior a 1, nível de degradação do sistema caso η seja maior que 1 e um período de vida útil caso η seja igual a 1. [15]

No gráfico da Figura 20, podemos ver qual o impacto que representa uma variação da função densidade de *Weibull* com a alteração do fator de escala de onde se pode concluir que ao aumentar o valor do fator de escala, a densidade da função baixa mas a sua duração no tempo prolonga-se, ou seja, aplicado ao caso de estudo significa que a função fiabilística vai baixando mas prolongamos o tempo médio de vida útil do equipamento. Em termos práticos, vai-se traduzir num tempo médio entre falhas mais prolongado.

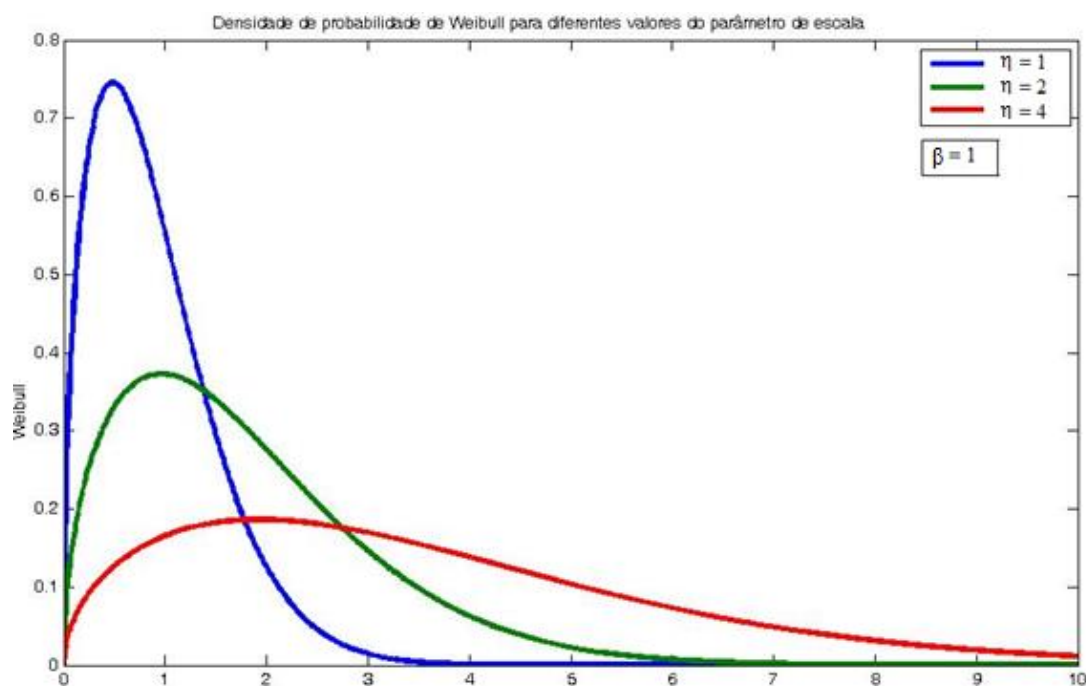


Figura 20 - Variação da Função Densidade de Weibull (variação de fator de escala) [15]

Já o fator forma β , traduz o mecanismo de falha, ou seja, de que forma ou porque fatores de degradação a falha é causada. Quanto maior for o seu valor, mais a moda da distribuição se desloca para a direita. Na prática isto traduz-se num aumento da fiabilidade de determinado equipamento ao longo do tempo.

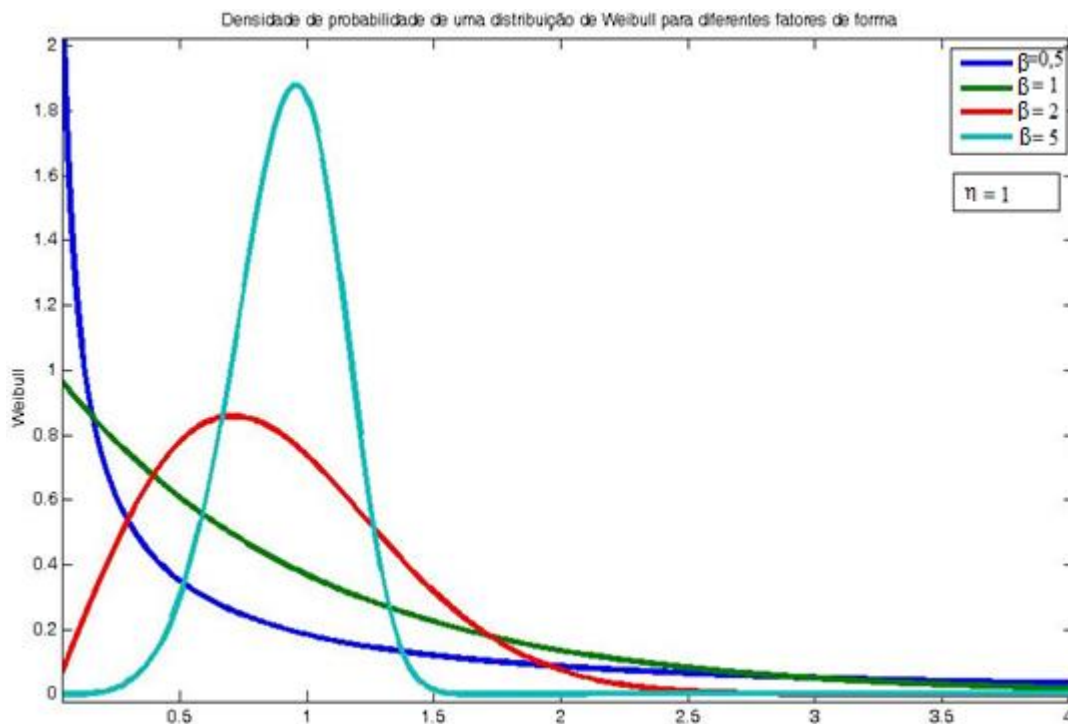


Figura 21 - Variação da Função Densidade de Weibull (variação de fator de forma) [15]

6.4 Cálculo do Tempo Ótimo de Reparação

Para a realização dos cálculos com o objetivo de prever o tempo ótimo para reparação ou substituição de determinado componente, foi utilizada uma folha de cálculo Excel facultada pelo docente orientado desta dissertação. Esta folha de cálculo já tem todas as fórmulas de fiabilidade do elemento, fiabilidade do sistema, faz a comparação da fiabilidade com e sem componentes em redundância e analisa se é viável do ponto de vista económico a substituição de determinado componente antes da sua falha entrando com todos os custos referidos acima bem como se justifica substituir ou se economicamente uma falha não é catastrófica para a empresa e se determinado componente pode trabalhar até efetivamente ocorrer a sua falha e só depois se proceder à sua substituição. [12]

Assim, serão apresentados, como já foi feito em capítulos anteriores, os cálculos apenas para a máquina F01 sendo que os cálculos das restantes máquinas serão exibidas em anexo.

De seguida, através da Tabela 15, é apresentado o cálculo para o tempo ótimo de substituição ou reparação para o elemento correspondente à avaria F1 que neste caso é a bomba hidráulica referente à máquina F01. Os valores de fator forma e escala estão apresentados na Tabela 16 para todas as avarias em estudo.

t	Fiabilidade do Componente		Custo de Reparação		Observações
	Fi(t)	Ri(t)	$C_{PS} * R(t)$	$C_{FS} * F(t)$	
t=+∞	100%	0%	4,98072E-10	12396,17	Run To Failure
t=+∞	100,0%	0,0%	4,98072E-10	12396,17	Age Based Replacement

Tabela 15 - Cálculo do Tempo Ótimo de Substituição

A otimização ou minimização dos custos da manutenção preventiva, é a melhor forma para encontrar o tempo t, ou seja, o tempo ótimo para a realização da mesma. A otimização dos custos é dada pela equação 10, onde C_{PS} traduz o custo de manutenção preventiva, $R_1(t)$ representa a fiabilidade do sistema, C_{FS} representa o custo de uma paragem por falha/avaría e $F_1(t)$ é a probabilidade de falha do sistema. [13]

$$\phi OARP(t) = \frac{C_{PS}R_1(t) + C_{FS}F_1(t)}{E[u(T_1)]}$$

Equação 10 - Otimização de Custos [13]

Quando estamos perante um cenário de se encontrar o tempo ótimo de reparação ou substituição mas na presença de sistemas com redundância, a equação que define a minimização de custos da manutenção preventiva sofre a influência do custo de aquisição do equipamento em estudo, sendo que a equação para a otimização dos custos é dada pela equação 11, onde C_{AS} representa então o custo de aquisição dos equipamentos a reparar ou substituir. [13]

$$\phi OARP(t) = \frac{C_A + C_{PS}R_1(t) + C_{FS}F_1(t)}{E[u(T_1)]}$$

Equação 11 - Otimização de Custos com Redundância [13]

Descrição Avaria	ID Avaria	Base de Dados Weibull - Fator Forma (β)			MTBF(h)	Função Gama	Fator Escala
		Low	Typical	High		r	η
Bomba hidráulica	F1	0,5	1,2	3	1660,36	0,94	1765,11
Motor da bomba hidráulica	F2	0,5	1,2	3	11629,50	0,94	12363,18
Fins de curso da porta	F3	0,5	1,5	3	5817,25	0,90	6443,95
Fins de curso de fecho da máquina	F4	0,5	1,5	3	1452,81	0,90	1609,33
Fins de curso dos robots	F5	0,5	1,5	3	2326,80	0,90	2577,47
Fins de curso do piston	F6	0,5	1,5	3	2325,90	0,90	2576,47
Ensaio fins de curso	F7	0,5	1,5	3	2113,82	0,90	2341,54
Automação/comandos	F8	0,5	1	3	1367,41	1,00	1367,41
Piston + camisa	F9	0,5	1,4	3	5816,00	0,91	6381,23
Queimador	F10	0,5	1	2	893,35	1,00	893,35
Cabaço/Cadinho	F11	0,5	1,2	3	1787,92	0,94	1900,72
Bomba de lubrificação	F12	0,5	1,1	1,4	2585,22	0,96	2679,23
Guias	F13	1	2	3,8	5816,50	0,89	6563,22
Eletricidade (Potência)	F14	0,5	1,5	3	1660,36	0,90	1839,23
Alimentador	F15	0,5	1,4	3	3877,00	0,91	4253,79
Óleo hidráulico + filtros	F16	0,5	1,1	3	3322,14	0,96	3442,95
Reconstrução de portas de segurança	F17	0,5	1,2	2,8	23279,00	0,94	24747,63
Contador de injeções	F18	0,5	1	3	23279,00	1,00	23279,00
Elementos mecânicos do Robot	F19	0,5	1,2	2,8	626,38	0,94	665,90
Válvula progressiva de fecho de máquina	F20	0,5	1,4	4	3323,57	0,91	3646,57
Pirómetro	F21	0,5	1	2	5818,00	1,00	5818,00
Encoder piston	F22	0,5	1	3	11639,00	1,00	11639,00
Varetas de nível de robot alimentador	F23	0,5	1	3	23278,00	1,00	23278,00
Mecanismos porta	F24	0,5	1,2	2,8	748,71	0,94	795,94

Tabela 16 - Fator Escala

Como foi acima referido, usando os valores de β , MTBF calculados, e os custos associados a aquisição do componente novo, custos de manutenção preventiva e custos de manutenção ou reparação após falha do equipamento e utilizando o valor típico de α , concluímos que a relação entre o custo e o benefício ou prejuízo que se retira inviabiliza uma substituição ou reparação do equipamento em causa antes de este falhar efetivamente sendo que o que os resultados mostram é que o ideal neste caso será deixar o equipamento trabalhar até à sua efetiva falha, ou seja, tecnicamente chamado “*Run to Failure*”. Após todos os cálculos efetuados, concluímos que o tempo ótimo de reparação ou substituição para cerca de metade todos os motivos de falhas em estudo será mesmo o “*Run to Failure*”, ou seja, trabalhar até ocorrer a falha. A Tabela 17 resume os componentes que irão trabalhar até falhar e os que têm um tempo ótimo de substituição bem como os respetivos custos totais de reparação após uma paragem por avaria.

FIABILIDADE DE COMPONENTES			
TEMPO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO			
ID AVARIA	t(h)	F(t)	C. Falha
F1	$+\infty$	100,0%	12 396,17 €
F2	$+\infty$	100,0%	5 345,91 €
F3	4694,25	46,3%	452,05 €
F4	1017,23	39,5%	737,44 €
F5	1938,03	47,9%	385,32 €
F6	1806,25	44,4%	566,43 €
F7	799,92	18,1%	185,29 €
F8	$+\infty$	100,0%	3 546,56 €
F9	$+\infty$	100,0%	10 625,45 €
F10	$+\infty$	100,0%	88 968,54 €
F11	$+\infty$	100,0%	11 359,09 €
F12	$+\infty$	100,0%	4 165,23 €
F13	5968,70	56,3%	17 261,07 €
F14	1382,25	47,8%	1 238,79 €
F15	8370,45	92,4%	6 417,39 €
F16	$+\infty$	100,0%	4 596,29 €
F17	41804,24	84,7%	67,76 €
F18	$+\infty$	100,0%	139,77 €
F19	1002,13	80,3%	64 464,09 €
F20	4655,23	75,5%	1 312,21 €
F21	$+\infty$	100,0%	709,09 €
F22	$+\infty$	100,0%	569,09 €
F23	$+\infty$	100,0%	337,27 €
F24	1599,69	90,0%	25 289,55 €

Tabela 17 - Tempo Ótimo de Substituição

Da Tabela 17, podemos concluir que os componentes que provocam as avarias F1, F2, F8, F9, F10, F11, F12, F16, F18, F21, F22 e F23 têm um tempo ótimo de substituição cuja probabilidade em que ocorra uma falha do mesmo é de 100%. Daqui podemos concluir que relacionando o funcionamento com os custos de substituição, será mesmo mais viável deixar os componentes trabalharem até que ocorra efetivamente a sua falha. Já os restantes apresentam uma probabilidade de falha no tempo ótimo de substituição acima dos 50% sendo que apenas os elementos que provocam as avarias F3, F4, F5, F6, F7 e F14 apresentam um tempo ótimo de substituição cuja probabilidade é inferior a 50%.

7 Análise de Sensibilidade

Perante todos os cálculos efetuados e apresentados neste estudo, foram efetuadas algumas alterações forçando vários parâmetros de cálculo com o intuito de se analisarem resultados e se retirarem conclusões bem como serem elaboradas sugestões para que todo o processo de manutenção, valores de fiabilidade e taxas de falha sejam melhorados.

Foi então elaborada uma tabela onde foram forçadamente alterados valores de custos de reparação e paragem não programada por avaria e foi variado o número de elementos a adicionar em termos de redundância n . Contudo, num caso de *Run To Failure*, apenas se tornaria compensatória a substituição de determinado elemento no seu tempo ótimo de substituição caso o impacto da sua paragem por falha fosse mais pesado ou até mesmo catastrófico para a faturação da empresa ou se representasse, por exemplo, um custo de reparação substancialmente mais elevado.

Assim, o cenário forçado foi a multiplicação do custo de reparação por 10 e por 100 e compará-lo com o custo inicialmente calculado. Poderemos associar este produto do custo por um fator de 10 e 100 ao facto, por exemplo, se caso a empresa aceitasse ou, como está presente em todos os contratos, o facto de o não cumprimento de um fornecimento de peças a um determinado cliente estivesse sujeita a coimas pesadas ou até mesmo à perda do cliente e à não faturação.

Assim, na Tabela 18, são apresentadas as alterações efetuadas para a avaria F1 multiplicando assim o seu custo de reparação, calculado em situações normais culminando num *Run To Failure*, por 10 e por 100, sendo que os cálculos para os restantes componentes associados às restantes avarias, são apresentados em tabela em anexo.

FIABILIDADE DE COMPONENTES									
ID AVARIA	Ch(x1)			Ch(x10)			Ch(x100)		
	t(h)	F(t)	C. Falha	t(h)	F(t)	C. Falha	t(h)	F(t)	C. Falha
F1	$+\infty$	100,0%	12 396,17 €	854,20	34,2%	27 069,02 €	117,56	3,8%	28 373,81 €

Tabela 18 - Alteração de Parâmetros da Função Fiabilidade

Daqui podemos concluir que obtemos uma melhor fiabilidade de determinado componente, nesta situação o componente associado à avaria F1 que será a bomba hidráulica, caso o custo de reparação seja substancialmente superior aos custos de manutenção preventiva e aos custos de aquisição dos componentes. Multiplicando o custo de reparação

por 10, deixamos de ter uma situação de *Run To Failure* e passamos a ter um tempo ótimo de substituição de 854,2 horas de trabalho o que significa que se o componente for substituído até estas horas de trabalho, apresenta uma probabilidade de falha de 34,2% tendo um custo de reparação em caso de falha de 27069,02€. É certo que será ainda assim um custo avultado de reparação mas temos de ter em conta que já não temos uma probabilidade de 100% de falha, ou seja, uma falha certa. Se multiplicarmos o custo de reparação inicial por 100, vamos obter um tempo ótimo de substituição de 117,56 horas com uma probabilidade de falha de 3,8% tendo um custo de reparação associado de 28373,81€. Aqui o custo continua elevado mas a probabilidade de a falha ocorrer é quase nula. Se compararmos com o cenário em que multiplicamos o custo por 10, obtemos uma redução de aproximadamente 31% de probabilidade de falha traduzindo-se em praticamente o mesmo custo de reparação associado.

De facto, como se comprova, caso as consequências de uma paragem não programada por avaria não sejam de carácter catastrófico para a empresa, não se torna viável investir num sistema de manutenção ou reparação ou substituição preventivo pois o benefício iria ser reduzido uma vez que também estamos a tratar de elementos de substituição relativamente caros no momento de aquisição.

8 Conclusões

O ideal em qualquer empresa de produção, será um cenário em que todos os equipamentos funcionem sem que nunca parem ou falhem de forma inesperada. Uma substituição programada de determinado componente imediatamente antes da sua falha seria o cenário que qualquer plano de manutenção preventiva desejaria desempenhar. Porém há que ter em conta o custo dos componentes a substituir e a sua condição atual, ou seja, se existe a necessidade de ser efetuada uma efetiva substituição ou se esse componente ainda pode desempenhar as suas funções de um modo ideal às condições para que ele foi projetado. Na maioria das vezes os componentes têm um custo de aquisição demasiado alto para se substituir quando ainda estão em mínimas condições aceitáveis e podem desempenhar mais umas determinadas horas de trabalho sem comprometer todo o sistema.

Assim, após a análise de todos os dados recolhidos bem como de todos os cálculos efetuados tendo como base as informações prestadas pela administração da empresa em estudo, podemos concluir que de um modo geral o melhor método para a realização de toda a manutenção preventiva, tendo como principal fator o binómio custo/benefício, é a substituição de determinado elemento após a sua falha, ou seja, todos os elementos estudados como impulsionadores das 24 avarias identificadas só serão substituídos ou alvo de uma intervenção após a sua falha efetiva, Run to Failure, funcionamento até à falha. Esta conclusão tem em conta, para além de todos os custos associados (custos de aquisição de peças novas, custos da realização de uma manutenção ou substituição preventiva de determinado elemento e custo de uma reparação por falha e paragem da máquina), a criticidade para a própria produção de peças injetadas e o cumprimento de metas e prazos.

Assim, se conclui que o método mais viável e mais eficaz que o caso de estudo tem para proceder à manutenção das suas máquinas de injeção será mesmo deixar os equipamentos trabalhar até à falha efetiva de algum dos elementos em estudo não invalidando a obrigatoriedade de seguir os planos de manutenção sugeridos pelos fabricantes e fornecedor de equipamentos e produtos bem como um acompanhamento da manutenção com trocas de consumíveis periódicas, verificação de anomalias, medições e análises constantes, lubrificações regulares e limpeza sistemática dos equipamentos.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

9 Trabalhos Futuros

Uma base de dados é essencial seja qual for o trabalho sistemático que seja elaborado. Só com uma boa e bem estruturada base de dados podemos ter históricos confiáveis e encontrar padrões para problemas bem como as suas possíveis soluções.

Assim, como trabalhos futuros, sugiro a criação de uma melhor e mais estruturada base de dados de todos os eventos relacionados com a manutenção efetuada a todos os equipamentos desta fábrica bem como a sua constante atualização e manutenção. De realçar que este estudo apenas foi efetuado às máquinas de injeção sendo que a empresa tem muitos mais equipamentos de tratamento das peças injetadas que também devem ser alvo de estudo de manutenção.

Após uma base de dados estruturada e funcional, sugiro então a criação de rotinas de manutenção sistemáticas de manutenção para o bom funcionamento dos equipamentos e para prolongamento da vida de trabalho das mesmas.

Por fim, sugiro a criação de uma lista de componentes mínimos de substituição a ter sem stock tendo por base o número de máquinas existentes em função do seu tipo e respetiva inventariação. Não existindo necessidade de ter *stock* de um conjunto de elementos de substituição por máquina mas sim por um determinado número de máquinas, nos componentes mais críticos deverá existir pelo menos uma unidade.

Referências

- [1] “Articles Base,” Artigonal Ltd, 2016. [Online]. Available: <http://www.articlesbase.com/>. [Acedido em 22 Agosto 2016].
- [2] F. Serra, M. Ferreira , M. Torres e A. Torres, “Gestão Estratégica - dos conceitos à prática,” Março 2010.
- [3] R. Cuignet, Gestão da Manutenção, LIDEL, 2010.
- [4] CustomPartNet, “CustomPart.NET,” CustomPart.NET, 2009. [Online]. Available: <http://www.custompartnet.com/about>. [Acedido em 7 Julho 2016].
- [5] “Metalopédia,” Google Sites, 2010. [Online]. Available: <https://sites.google.com/a/catim.pt/metalopedia/metalurgia/ligas-metalicas/zamac>. [Acedido em 14 Junho 2016].
- [6] “University of Cambridge,” Department of Materials Science & Metallurgy, University of Cambridge, 2016. [Online]. Available: <http://www.msm.cam.ac.uk/>. [Acedido em 13 Junho 2016].
- [7] “European Committee for Standardization,” CEN, 17 Setembro 2016. [Online]. Available: <https://www.cen.eu/Pages/default.aspx>. [Acedido em 1 Setembro 2016].
- [8] M. Rausand, Reliability of Safety-Critical Systems - Theory and Applications, Wiley.
- [9] “<http://falandodequalidade.net/>,” EDILA - Editorial Latina, 2016. [Online]. Available: <http://falandodequalidade.net/>. [Acedido em 25 Agosto 2016].
- [10] A. S. f. Quality, “ASQ - The Global Voice of Quality (<http://asq.org/>),” 2016. [Online]. Available: <http://falandodequalidade.net/Gurus%20da%20Qualidade%20Mundial%20PageView.pdf>. [Acedido em 25 Agosto 2016].
- [11] “Web Artigos,” WebArtigos.com, 2016. [Online]. Available: <http://www.webartigos.com/>. [Acedido em 17 Junho 2016].

- [12] R. Assis, Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Ativos Físicos, LIDEL, 2010.
- [13] J. Siopa, J. Garção e J. Silva, “Component redundancy allocation in optimal cost,” 26 Setembro 2013.
- [14] R. Corporation, “Reliability Engineering Resources,” ReliaSoft Corporation, 1992-2016. [Online]. Available: <http://www.weibull.com/>. [Acedido em 12 Julho 2016].
- [15] M. Pages, “Math Pages,” 2016. [Online]. Available: <http://www.mathpages.com/home/index.htm>. [Acedido em 10 Agosto 2016].

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Anexos

ANEXO A: Resumo de avarias por máquina

MÁQUINA F02			
ID AVARIA	TIPO DE PARAGEM/AVARIA	DATA	TEMPO DE PARAGEM (h)
F12	Avaria de bomba de lubrificação	05/08/2015	2
F5	Fim de curso de robot	20/05/2015	1
F10	Avaria no queimador	14/04/2015	3
F8	Avaria no comando do fecho automático	10/03/2015	2
F1	Reparação de bomba hidráulica	19/01/2015	5
F18	Avaria no alimentador	15/01/2015	2
F8	Avaria no comando do fecho automático	07/01/2015	1
F7	Ensaio de fins de curso	05/01/2015	4
F8	Substituição de monitor de controlo	06/12/2014	2
F15	Avaria de bomba de lubrificação	12/11/2014	1
F7	Ensaio de fins de curso	08/09/2014	6
F10	Avaria no queimador	11/07/2014	1
F11	Substituição de cadinho	19/06/2014	3
F24	Mecanismo fecho da porta	16/05/2014	1
F14	Reconstrução do arranque estrela-triângulo da bomba hidráulica	04/04/2014	4
F20	Substituição de válvula progressiva de fecho da máquina	03/02/2014	1
F5	Substituição de fins de curso do robot	01/10/2013	2
F10	Avaria no queimador	11/07/2013	1
F15	Avaria no alimentador	20/05/2013	2
F19	Avaria no robot	15/05/2013	3
F24	Mecanismo fecho da porta	08/04/2013	3
F24	Mecanismo fecho da porta	12/03/2013	4
F12	Avaria de bomba de lubrificação	02/02/2013	1
F5	Substituição de fins de curso do robot	03/12/2012	2
F7	Ensaio de fins de curso	14/09/2012	3
F24	Mecanismo fecho da porta	09/07/2012	1
F10	Avaria no queimador	11/05/2012	1
F24	Mecanismo fecho da porta	15/02/2012	2
F19	Avaria no robot	19/01/2012	8

MAQUINA F03

ID AVARIA	TIPO DE PARAGEM/AVARIA	DATA	TEMPO DE PARAGEM (h)
F11	Substituição de cadinho	09/12/2015	3
F5	Fim de curso de robot	25/11/2015	1
F24	Mecanismo fecho da porta	05/08/2015	2
F10	Avaria no queimador	20/05/2015	5
F20	Avaria de válvula progressiva	11/03/2015	3
F14	Reconstrução de ligações elétricas de alimentação da bomba hidráulica	15/01/2015	2
F14	Substituição de contactor de alimentação elétrica da bomba hidráulica	07/01/2015	1
F7	Ensaio de fins de curso	05/01/2015	4
F8	Avaria no comando do fecho automático	06/12/2014	2
F10	Avaria no queimador	12/11/2014	1
F24	Mecanismo fecho da porta	08/09/2014	6
F19	Avaria no robot	11/07/2014	1
F7	Ensaio de fins de curso	16/05/2014	1
F10	Avaria no queimador	04/04/2014	4
F3	Avaria de fins de curso da porta	03/02/2014	1
F4	Avaria no fim de curso de fecho da máquina	01/10/2013	2
F14	Substituição de disjuntotr geral de alimentação elétrica	28/09/2013	2
F10	Avaria no queimador	13/07/2013	1
F16	Substituição de óleo hidráulico e filtro	08/04/2013	3
F9	Piston partido	12/03/2013	4
F5	Fim de curso de robot	02/02/2013	1
F24	Mecanismo fecho da porta	14/12/2012	2
F20	Avaria de válvula progressiva	22/09/2012	3
F4	Avaria no fim de curso de fecho da máquina	27/07/2012	2
F12	Substituição da bomba de lubrificação	05/05/2012	1
F24	Mecanismo fecho da porta	25/02/2012	2
F19	Avaria no robot	21/01/2012	8

MÁQUINA F04

ID AVARIA	TIPO DE PARAGEM/AVARIA	DATA	TEMPO DE PARAGEM (h)
F4	Avaria fim de curso de fecho da máquina	09/12/2015	1
F10	Avaria no queimador	25/11/2015	1
F2	Substituição da bomba hidráulica	19/01/2015	5
F11	Substituição do cabaço	05/08/2015	2
F10	Avaria no queimador	15/01/2015	2
F9	Piston partido	07/01/2015	1
F7	Ensaio de fins de curso	05/01/2015	4
F19	Reparação no robot alimentador	06/12/2014	2
F24	Mecanismo fecho da porta	03/02/2014	1
F21	Avaria e substituição de pirómetro	04/04/2014	4
F19	Avaria no motor do robot alimentador	16/05/2014	1
F10	Avaria no queimador	11/07/2014	1
F19	Corrente do robot alimentador partida	08/09/2014	6
F19	Substituição de secção do braço do robot alimentador	12/11/2014	1
F24	Mecanismo fecho da porta	01/10/2013	2
F22	Revisão a ligações erradas no encoder do piston	28/09/2013	1
F11	Substituição de cadinho	17/07/2013	3
F22	Substituição do encoder do pisto	13/07/2013	1
F6	Avaria nos fins de curso do piston	08/04/2013	3
F24	Mecanismo fecho da porta	12/03/2013	4
F10	Avaria no queimador	02/02/2013	1
F14	Variador de velocidade do robot alimentador queimado	20/11/2012	2
F20	Avaria de válvula progressiva	14/08/2012	3
F10	Avaria no queimador	31/07/2012	1
F19	Reparação no robot alimentador	28/06/2012	1
F14	Variador de velocidade do robot alimentador queimado	13/03/2012	2
F14	Várias ligações elétricas queimadas no quadro de alimentação	25/01/2012	8

MAQUINA F05			
ID AVARIA	TIPO DE PARAGEM/AVARIA	DATA	TEMPO DE PARAGEM (h)
F8	Avaria no comando do fecho automático	09/12/2015	1
F1	Reparação de bomba hidráulica	25/11/2015	1
F7	Ensaio de fins de curso	05/08/2015	2
F20	Avaria de válvula progressiva	20/05/2015	1
F15	Avaria no alimentador	19/01/2015	5
F14	Avaria no arranque da bomba hidráulica	15/01/2015	2
F19	Avaria no robot alimentador	05/01/2015	4
F24	Mecanismo fecho da porta	06/12/2014	2
F10	Avaria no queimador	12/11/2014	1
F19	Avaria e substituição dos cabos do robot alimentador	08/09/2014	6
F8	Avaria numa carta do autómato	11/07/2014	1
F10	Avaria no queimador	16/05/2014	1
F19	Avaria no robot alimentador	04/04/2014	4
F4	Avaria em fim de curso de fecho da máquina	03/02/2014	1
F19	Avaria no robot alimentador	01/10/2013	2
F4	Avaria no fim de curso de fecho da máquina	28/09/2013	1
F20	Avaria de válvula progressiva	13/07/2013	1
F24	Mecanismo fecho da porta	08/04/2013	3
F10	Avaria no queimador	02/02/2013	1
F20	Avaria de válvula progressiva	16/10/2012	3
F17	Reconstrução de sistema de comando da porta	26/07/2012	1
F14	Substituição do contactor de alimentação da bomba hidráulica	16/04/2012	1
F14	Variador de velocidade do robot alimentador queimado	24/02/2012	2
F9	Reparação de piston	15/02/2012	8

MAQUINA F07			
ID AVARIA	TIPO DE PARAGEM/AVARIA	DATA	TEMPO DE PARAGEM (h)
F19	Avaria e revisão a sistema elétrico do robot alimentador	09/12/2015	1
F19	Substituição dos cabos do robot alimentador	25/11/2015	1
F10	Avaria no queimador	05/08/2015	2
F6	Avaria de fim de curso de piston	20/05/2015	1
F24	Mecanismo fecho da porta	19/01/2015	5
F24	Mecanismo fecho da porta	15/01/2015	2
F24	Mecanismo fecho da porta	07/01/2015	1
F6	Avaria de fim de curso de piston	05/01/2015	4
F19	Avaria no robot alimentador	06/12/2014	2
F19	Substituição dos cabos do robot alimentador	12/11/2014	1
F19	Avaria e revisão a sistema elétrico do robot alimentador	08/09/2014	6
F19	Avaria no robot alimentador	11/07/2014	1
F21	Avaria e substituição do pirómetro	16/05/2014	1
F10	Avaria no queimador	04/04/2014	4
F4	Avaria em fim de curso de fecho da máquina	03/02/2014	1
F19	Substituição dos cabos do robot alimentador	01/10/2013	2
F13	Guia inferior direita partida	28/09/2013	1
F8	Revisão e reconstrução da alimentação às cartas do autómato	13/07/2013	1
F13	Guia superior direita partida	08/04/2013	3
F3	Substituição dos fins de curso da porta	12/03/2013	4
F13	Guia superior direita partida	14/12/2012	2
F24	Instalação de uma porta nova	22/09/2012	3
F1	Avaria e reparação da bomba hidráulica	27/07/2012	1
F6	Avaria de fim de curso de piston	05/05/2012	1
F19	Substituição dos cabos do robot alimentador	21/01/2012	8
F10	Avaria no queimador	25/02/2012	2

MAQUINA F08			
ID AVARIA	TIPO DE PARAGEM/AVARIA	DATA	TEMPO DE PARAGEM (h)
F10	Avaria no queimador	09/12/2015	1
F12	Avaria na bomba de lubrificação	25/11/2015	1
F21	Avaria e substituição do pirómetro	05/08/2015	2
F4	Avaria fim de curso de fecho da máquina	20/05/2015	1
F6	Substituição de fim de curso do piston	19/01/2015	5
F10	Avaria no queimador	15/01/2015	2
F4	Avaria em fim de curso de fecho da máquina	05/01/2015	4
F19	Substituição dos cabos do robot alimentador	06/12/2014	2
F11	Substituição de cadinho	22/10/2014	3
F1	Avaria da bomba hidráulica	08/09/2014	6
F4	Avaria fim de curso de fecho da máquina	11/07/2014	1
F1	Avaria da bomba hidráulica	04/04/2014	4
F8	Desprogramação e descontrolo dos autómatos	03/02/2014	1
F19	Avaria no robot alimentador	01/10/2013	2
F24	Mecanismo fecho da porta	28/09/2013	1
F11	Substituição do cabaço	08/04/2013	3
F19	Afinação de motor subir/descer do robot alimentador	12/03/2013	4
F6	Substituição de fim de curso do piston	02/02/2013	3
F11	Substituição de cadinho	19/12/2012	3
F14	Sobreaquecimento do motor da bomba hidráulica. Revisão de instalação elétrica	17/12/2012	2
F19	Substituição dos cabos do robot alimentador	21/09/2012	3
F1	Avaria e reparação da bomba hidráulica	18/07/2012	1
F12	Avaria na bomba de lubrificação	26/01/2012	2
F3	Substituição de fim de curso da porta	21/01/2012	3

MAQUINA F10			
ID AVARIA	TIPO DE PARAGEM/AVARIA	DATA	TEMPO DE PARAGEM (h)
F8	Avaria de comunicação do autómato	09/12/2015	1
F1	Avaria e reparação da bomba hidráulica	25/11/2015	1
F19	Substituição dos cabos do robot alimentador	20/05/2015	1
F11	Substituição de cadinho	17/03/2015	3
F11	Substituição do cabaço	16/01/2015	2
F8	Autómato queimado	15/01/2015	2
F10	Avaria no queimador	05/01/2015	4
F24	Mecanismo fecho da porta	06/12/2014	2
F6	Substituição de fim de curso do piston	12/11/2014	1
F8	Avaria e substituição de uma carta do autómato	08/09/2014	6
F4	Avaria fim de curso de fecho da máquina	11/07/2014	1
F19	Substituição de elementos mecânicos de movimento do robot alimentador	16/05/2014	1
F1	Avaria da bomba hidráulica	04/04/2014	4
F21	Avaria e substituição do pirómetro	03/02/2014	1
F16	Presença de água no oleo hidráulico	01/10/2013	2
F16	Revisão do sistema hidráulico	28/09/2013	1
F8	Descontrolo do robot alimentador	13/07/2013	1
F9	Reparação do piston	08/04/2013	3
F19	Avaria elétrica no robot alimentador	06/03/2013	4
F1	Substituição da bomba hidráulica	09/01/2013	1
F8	Avaria e revisão do quadro de comandos da máquina	20/11/2012	2
F3	Substituição de fim de curso da porta	22/10/2012	3
F19	Substituição dos cabos do robot alimentador	30/07/2012	1
F1	Avaria e reparação da bomba hidráulica	05/07/2012	1
F8	Avaria de comunicação do autómato	25/05/2012	2
F4	Avaria fim de curso de fecho da máquina	21/02/2012	8

MAQUINA F11

ID AVARIA	TIPO DE PARAGEM/AVARIA	DATA	TEMPO DE PARAGEM (h)
F5	Substituição de fins de curso do robot	09/12/2015	1
F10	Avaria no queimador	25/11/2015	3
F4	Avaria fim de curso de fecho da máquina	12/10/2015	2
F19	Avaria no robot	05/08/2015	2
F11	Substituição de cadinho	24/06/2015	3
F24	Mecanismo fecho da porta	20/05/2015	1
F1	Avaria e reparação da bomba hidráulica	27/07/2012	1
F15	Avaria no alimentador	19/01/2015	5
F12	Avaria na bomba de lubrificação	25/02/2012	2
F10	Avaria no queimador	16/01/2015	2
F24	Mecanismo fecho da porta	15/01/2015	2
F24	Mecanismo fecho da porta	07/01/2015	1
F4	Avaria fim de curso de fecho da máquina	05/01/2015	4
F19	Avaria no robot alimentador	06/12/2014	2
F19	Substituição dos cabos do robot alimentador	12/11/2014	1
F8	Reprogramação do comando do robot alimentador	08/09/2014	6
F19	Avaria e substituição de um motor do robot alimentador	11/07/2014	1
F6	Substituição de fim de curso do piston	16/05/2014	1
F10	Avaria no queimador	04/04/2014	4
F24	Mecanismo fecho da porta	03/02/2014	1
F19	Afinação de motor subir/descer do robot alimentador	01/10/2013	2
F11	Substituição do cadinho	28/09/2013	3
F24	Mecanismo fecho da porta	13/07/2013	1
F19	Avaria elétrica no robot alimentador	17/05/2013	5
F19	Avaria no robot alimentador	08/04/2013	3
F24	Mecanismo fecho da porta	12/03/2013	4
F6	Substituição de fim de curso do piston	02/02/2013	1
F4	Avaria fim de curso de fecho da máquina	14/12/2012	2
F14	Avaria nas ligações de estrela-triângulo do motor da bomba hidráulica	22/09/2012	3
F19	Reparação de cabos do robot alimentador	27/07/2012	1
F1	Avaria e reparação da bomba hidráulica	05/05/2012	1
F23	Substituição de varetas de nível do robot alimentador	25/02/2012	2
F16	Substituição do oleo hidráulico e filtro	21/01/2012	8

ANEXO B: Cálculo da indisponibilidade por máquina

MÁQUINA F02						
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQUÊNCIA DE AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL
F1	0,02148%	5,00	23275,000	5,00000	1	6,944%
F5	0,02148%	5,00	7758,333	1,66667	3	6,944%
F7	0,05584%	13,00	7755,667	4,33333	3	18,056%
F8	0,02148%	5,00	7758,333	1,66667	3	6,944%
F10	0,02577%	6,00	5818,500	1,50000	4	8,333%
F11	0,01289%	3,00	23277,000	3,00000	1	4,167%
F12	0,01718%	3,00	11638,000	2,00000	2	5,556%
F14	0,01718%	4,00	23276,000	4,00000	1	5,556%
F15	0,01718%	3,00	11638,000	2,00000	2	5,556%
F19	0,04725%	11,00	11634,500	5,50000	2	15,278%
F20	0,00430%	1,00	23279,000	1,00000	1	1,389%
F24	0,04725%	11,00	4653,8	2,2	5	15,278%

MÁQUINA F03						
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQUÊNCIA DE AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL
F3	0,0043%	1,00	23279,00	1,000	1	1,4706%
F4	0,0172%	4,00	11638,00	2,000	2	5,8824%
F5	0,0086%	2,00	11639,00	1,000	2	2,9412%
F7	0,0215%	5,00	11637,50	2,500	2	7,3529%
F8	0,0086%	2,00	23278,00	2,000	1	2,9412%
F9	0,0172%	4,00	23276,00	4,000	1	5,8824%
F10	0,0473%	11,00	5817,25	2,750	4	16,1765%
F11	0,0129%	3,00	23277,00	3,000	1	4,4118%
F12	0,0043%	1,00	23279,00	1,000	1	1,4706%
F14	0,0215%	5,00	7758,33	1,667	3	7,3529%
F16	0,0129%	3,00	23277,00	3,000	1	4,4118%
F19	0,0387%	9,00	11635,50	4,500	2	13,2353%
F20	0,0258%	6,00	11637,00	3,000	2	8,8235%
F24	0,0515%	12,00	5817,00	3,000	4	17,6471%

MÁQUINA F04						
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQUÊNCIA DE AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL
F2	0,02148%	5,00	23275,00	5,000	1	7,81250%
F4	0,00430%	1,00	23279,00	1,000	1	1,56250%
F6	0,01289%	3,00	23277,00	3,000	1	4,68750%
F7	0,01718%	4,00	23276,00	4,000	1	6,25000%
F9	0,00430%	1,00	23279,00	1,000	1	1,56250%
F10	0,02577%	6,00	4654,80	1,200	5	9,37500%
F11	0,02148%	5,00	11637,50	2,500	2	7,81250%
F14	0,05155%	12,00	7756,00	4,000	3	18,75000%
F19	0,04725%	11,00	4653,80	2,200	5	17,18750%
F20	0,01289%	3,00	23277,00	3,000	1	4,68750%
F21	0,01718%	4,00	23276,00	4,000	1	6,25000%
F22	0,00859%	2,00	11639,00	1,000	2	3,12500%
F24	0,03007%	7,00	7757,67	2,333	3	10,93750%

MÁQUINA F05						
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL
F1	0,00430%	1,00	23279,00	1,00	1	1,81818%
F4	0,00859%	2,00	11639,00	1,00	2	3,63636%
F7	0,00859%	2,00	23278,00	2,00	1	3,63636%
F8	0,00859%	2,00	11639,00	1,00	2	3,63636%
F9	0,03436%	8,00	23272,00	8,00	1	14,54545%
F10	0,01289%	3,00	7759,00	1,00	3	5,45455%
F14	0,02148%	5,00	7758,33	1,67	3	9,09091%
F15	0,02148%	5,00	23275,00	5,00	1	9,09091%
F17	0,00430%	1,00	23279,00	1,00	1	1,81818%
F19	0,06873%	16,00	5816,00	4,00	4	29,09091%
F20	0,02148%	5,00	7758,33	1,67	3	9,09091%
F24	0,02148%	5,00	11637,50	2,50	2	9,09091%

MÁQUINA F07						
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL
F1	0,00430%	1,00	23279,00	1,000	1	1,639%
F3	0,01718%	4,00	23276,00	4,000	1	6,557%
F4	0,00430%	1,00	23279,00	1,000	1	1,639%
F6	0,02577%	6,00	7758,00	2,000	3	9,836%
F8	0,00430%	1,00	23279,00	1,000	1	1,639%
F10	0,03436%	8,00	7757,33	2,667	3	13,115%
F13	0,02577%	6,00	7758,00	2,000	3	9,836%
F19	0,09450%	22,00	2907,25	2,750	8	36,066%
F21	0,00430%	1,00	23279,00	1,000	1	1,639%
F24	0,04725%	11,00	5817,25	2,750	4	18,033%

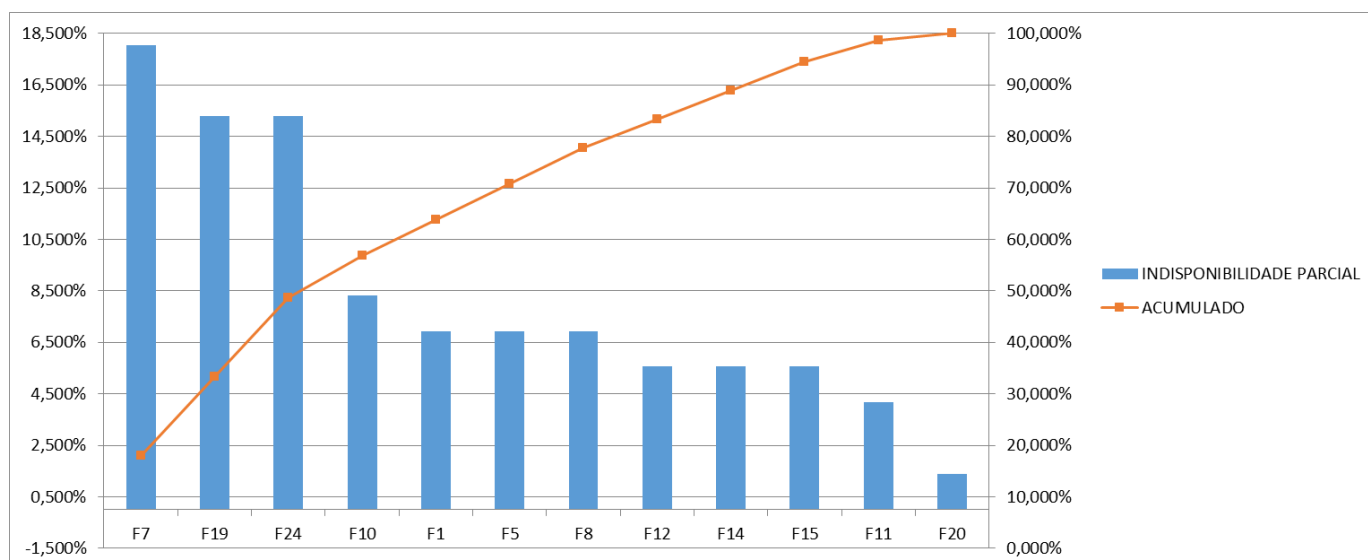
MÁQUINA F08						
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL
F1	0,04725%	11,00	7756,33	3,67	3	18,333%
F3	0,01289%	3,00	23277,00	3,00	1	5,000%
F4	0,02577%	6,00	7758,00	2,00	3	10,000%
F6	0,03436%	8,00	11636,00	4,00	2	13,333%
F8	0,00430%	1,00	23279,00	1,00	1	1,667%
F10	0,01289%	3,00	11638,50	1,50	2	5,000%
F11	0,03866%	9,00	7757,00	3,00	3	15,000%
F12	0,01289%	3,00	11638,50	1,50	2	5,000%
F14	0,00859%	2,00	23278,00	2,00	1	3,333%
F19	0,04725%	11,00	5817,25	2,75	4	18,333%
F21	0,00859%	2,00	23278,00	2,00	1	3,333%
F24	0,00430%	1,00	23279,00	1,00	1	1,667%

MÁQUINA F10						
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL
F1	0,0301%	7,00	5818,25	1,750	4	11,86441%
F3	0,0129%	3,00	23277,00	3,000	1	5,08475%
F4	0,0387%	9,00	11635,50	4,500	2	15,25424%
F6	0,0043%	1,00	23279,00	1,000	1	1,69492%
F8	0,0601%	14,00	3877,67	2,333	6	23,72881%
F9	0,0129%	3,00	23277,00	3,000	1	5,08475%
F10	0,0172%	4,00	23276,00	4,000	1	6,77966%
F11	0,0215%	5,00	11637,50	2,500	2	8,47458%
F16	0,0129%	3,00	11638,50	1,500	2	5,08475%
F19	0,0301%	7,00	5818,25	1,750	4	11,86441%
F21	0,0043%	1,00	23279,00	1,000	1	1,69492%
F24	0,0086%	2,00	23278,00	2,000	1	3,38983%

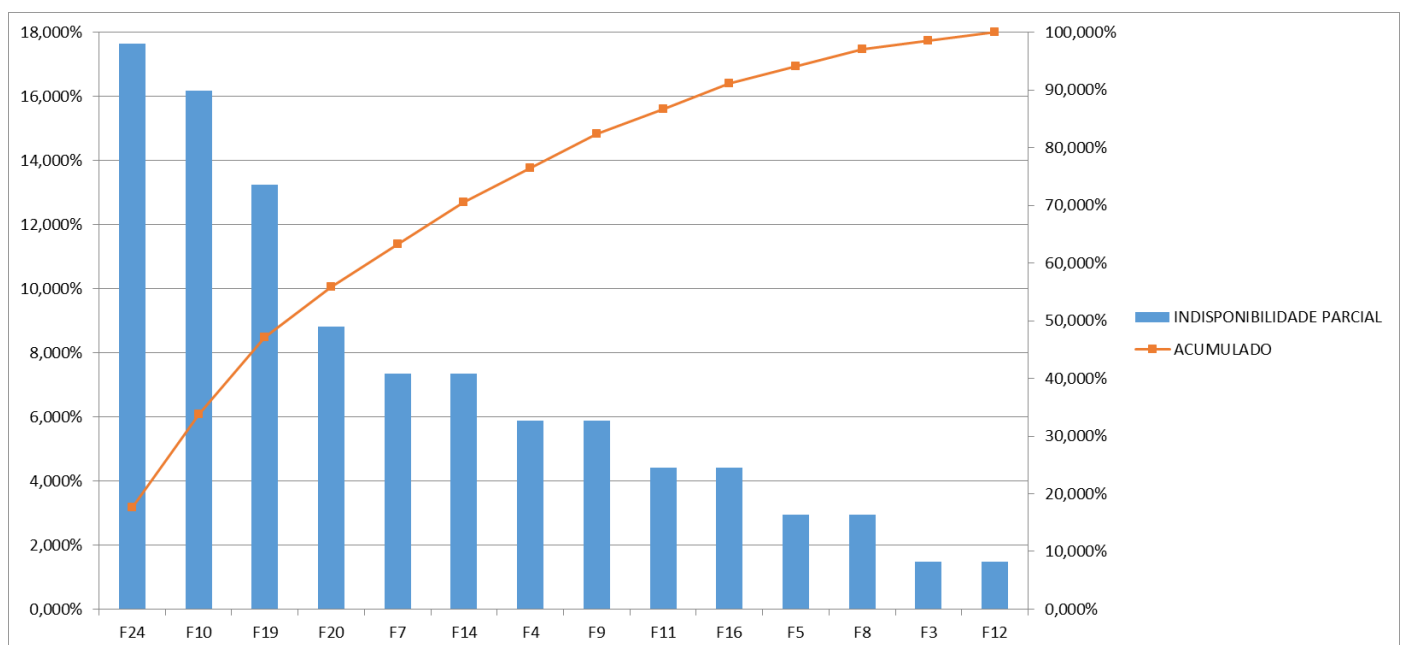
MÁQUINA F11						
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL
F1	0,0086%	2,00	11639,000	1,0000	2	2,46914%
F4	0,0344%	8,00	7757,333	2,6667	3	9,87654%
F5	0,0043%	1,00	23279,000	1,0000	1	1,23457%
F6	0,0086%	2,00	11639,000	1,0000	2	2,46914%
F8	0,0258%	6,00	23274,000	6,0000	1	7,40741%
F10	0,0387%	9,00	7757,000	3,0000	3	11,11111%
F11	0,0258%	6,00	11637,000	3,0000	2	7,40741%
F12	0,0086%	2,00	23278,000	2,0000	1	2,46914%
F14	0,0129%	3,00	23277,000	3,0000	1	3,70370%
F15	0,0215%	5,00	23275,000	5,0000	1	6,17284%
F16	0,0344%	8,00	23272,000	8,0000	1	9,87654%
F19	0,0730%	17,00	2907,875	2,1250	8	20,98765%
F23	0,0086%	2,00	23278,000	2,0000	1	2,46914%
F24	0,0430%	10,00	3878,333	1,6667	6	12,34568%

ANEXO C: Análise de Pareto às avarias por máquina

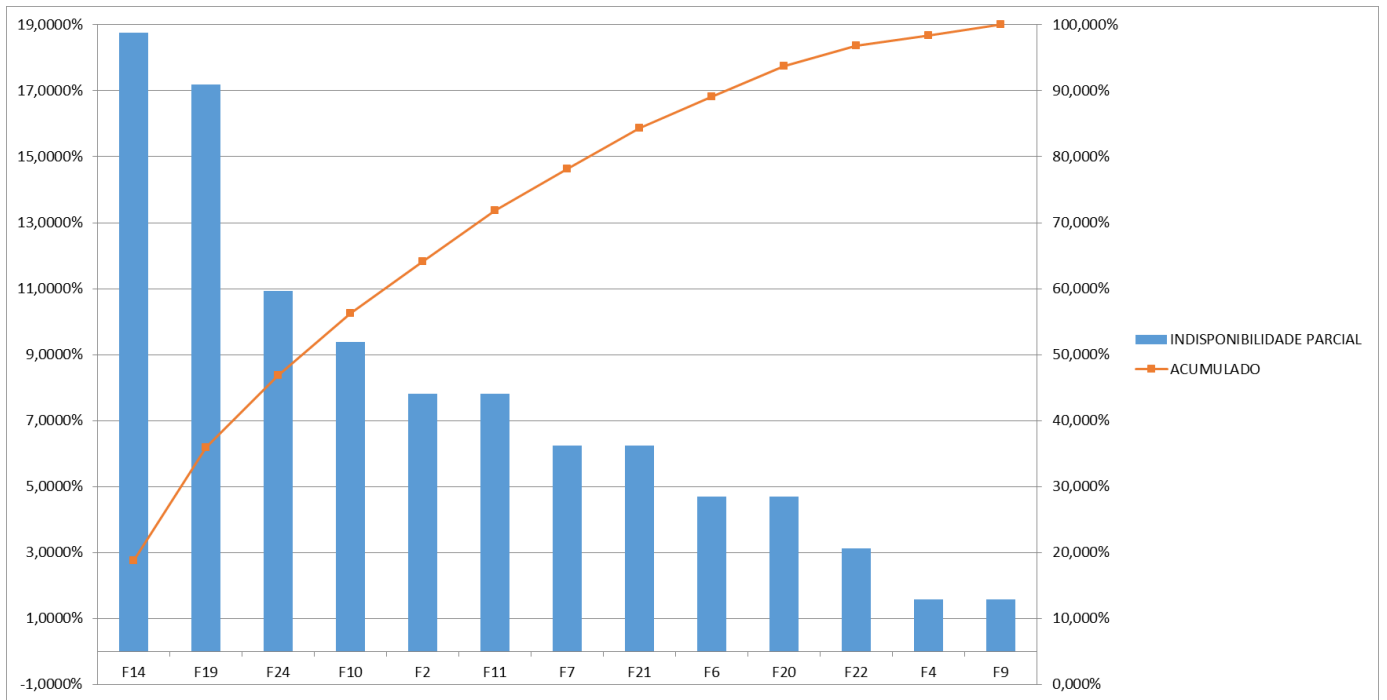
MÁQUINA F02		
AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F7	18,056%	18,056%
F19	15,278%	33,333%
F24	15,278%	48,611%
F10	8,333%	56,944%
F1	6,944%	63,889%
F5	6,944%	70,833%
F8	6,944%	77,778%
F12	5,556%	83,333%
F14	5,556%	88,889%
F15	5,556%	94,444%
F11	4,167%	98,611%
F20	1,389%	100,000%



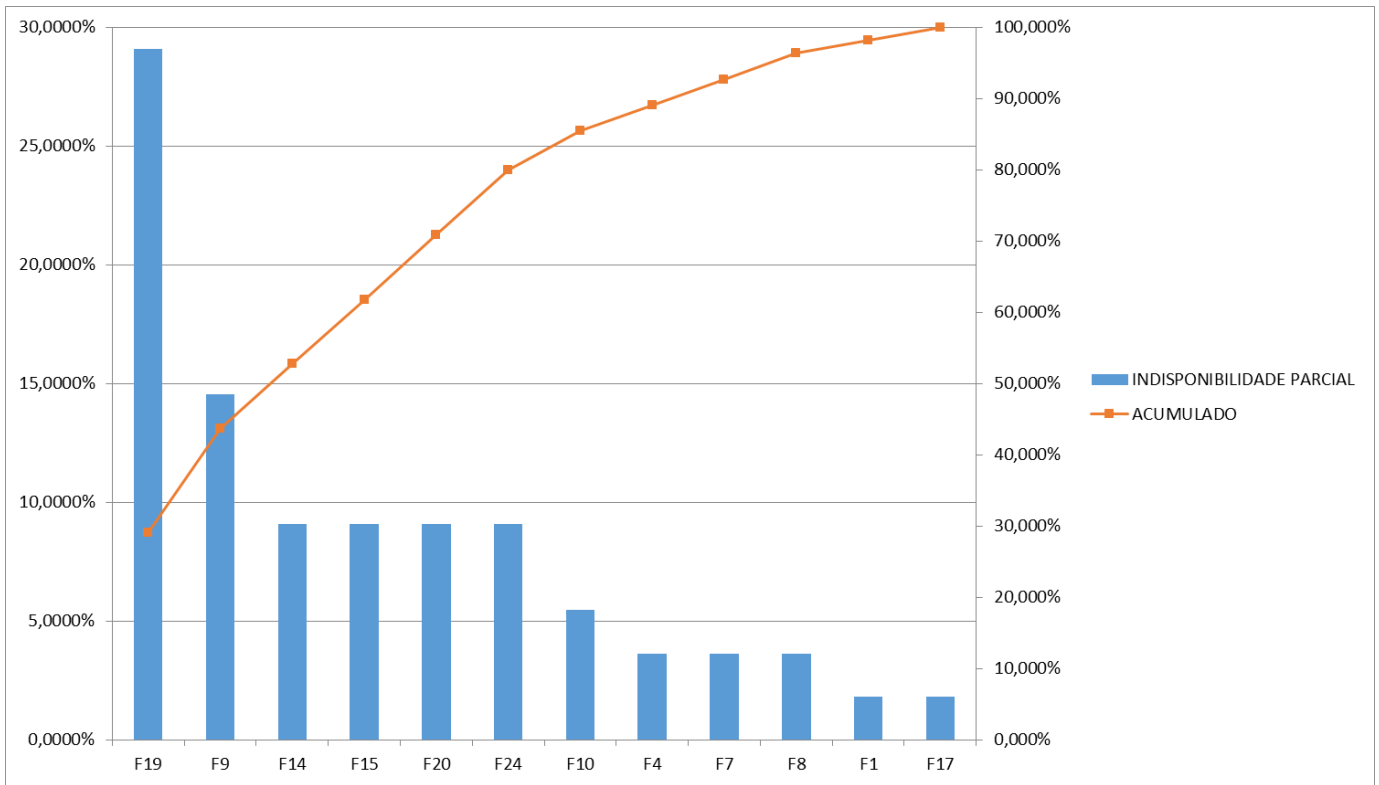
MÁQUINA F03		
AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F24	17,647%	17,647%
F10	16,176%	33,824%
F19	13,235%	47,059%
F20	8,824%	55,882%
F7	7,353%	63,235%
F14	7,353%	70,588%
F4	5,882%	76,471%
F9	5,882%	82,353%
F11	4,412%	86,765%
F16	4,412%	91,176%
F5	2,941%	94,118%
F8	2,941%	97,059%
F3	1,471%	98,529%
F12	1,471%	100,000%



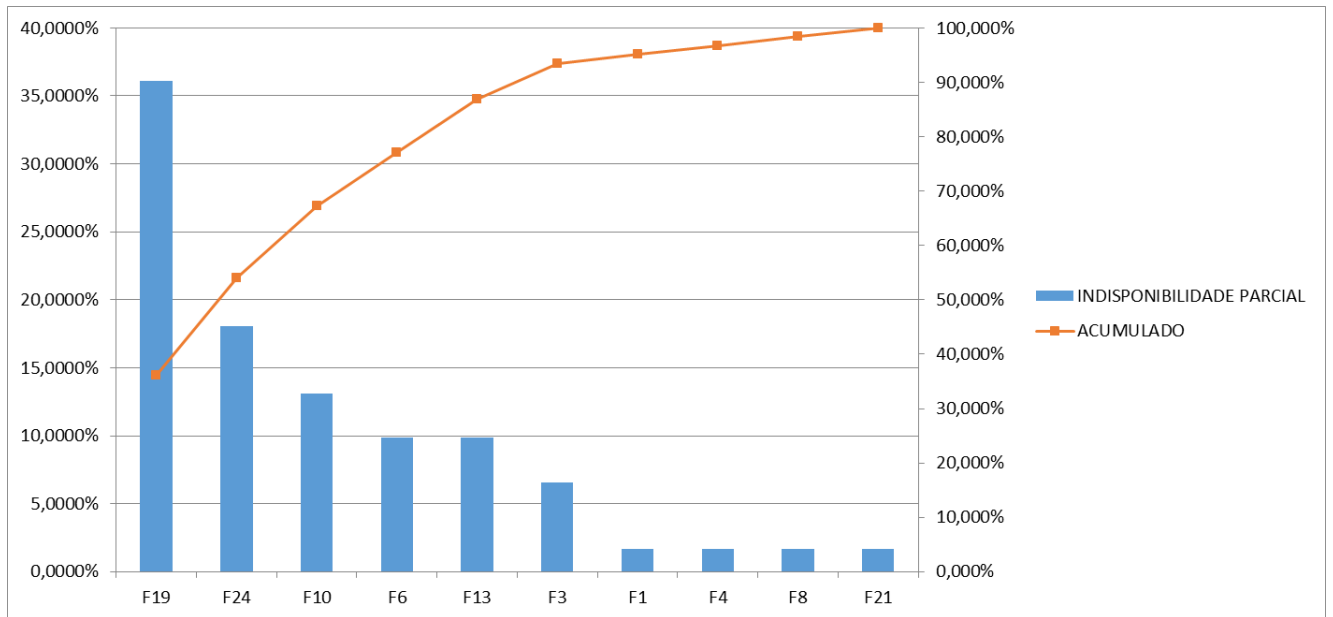
MÁQUINA F04		
AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F14	18,7500%	18,750%
F19	17,1875%	35,938%
F24	10,9375%	46,875%
F10	9,3750%	56,250%
F2	7,8125%	64,063%
F11	7,8125%	71,875%
F7	6,2500%	78,125%
F21	6,2500%	84,375%
F6	4,6875%	89,063%
F20	4,6875%	93,750%
F22	3,1250%	96,875%
F4	1,5625%	98,438%
F9	1,5625%	100,000%



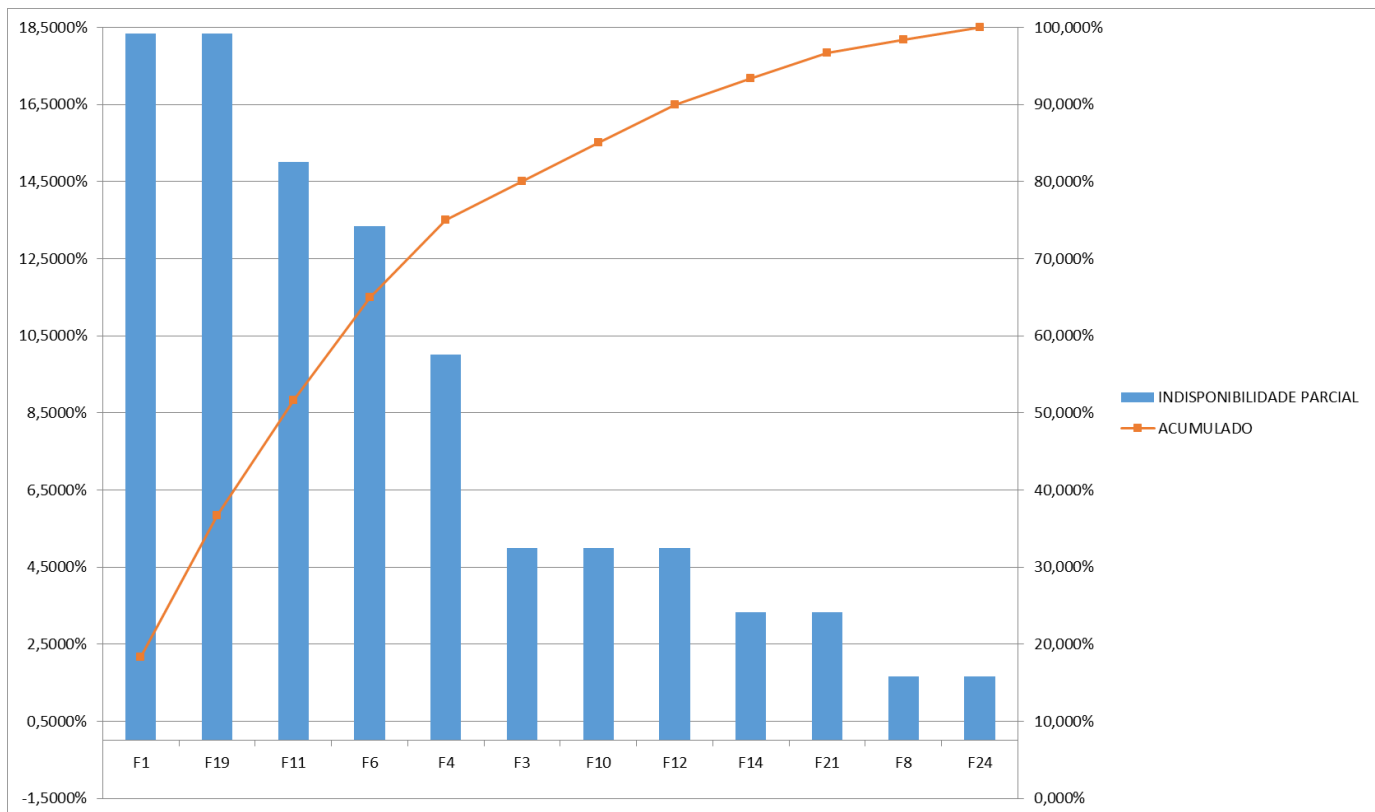
MÁQUINA F05		
AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F19	29,0909%	29,091%
F9	14,5455%	43,636%
F14	9,0909%	52,727%
F15	9,0909%	61,818%
F20	9,0909%	70,909%
F24	9,0909%	80,000%
F10	5,4545%	85,455%
F4	3,6364%	89,091%
F7	3,6364%	92,727%
F8	3,6364%	96,364%
F1	1,8182%	98,182%
F17	1,8182%	100,000%



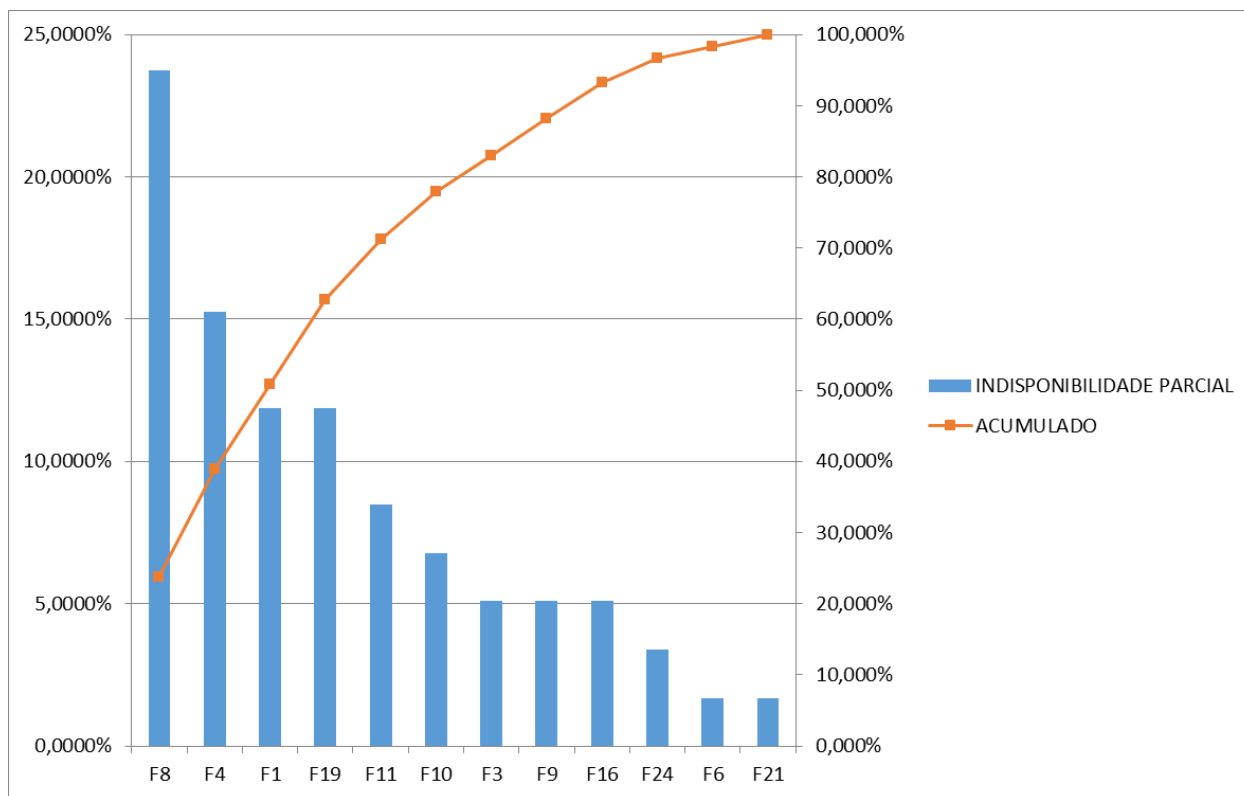
MÁQUINA F07		
AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F19	36,0656%	36,066%
F24	18,0328%	54,098%
F10	13,1148%	67,213%
F6	9,8361%	77,049%
F13	9,8361%	86,885%
F3	6,5574%	93,443%
F1	1,6393%	95,082%
F4	1,6393%	96,721%
F8	1,6393%	98,361%
F21	1,6393%	100,000%



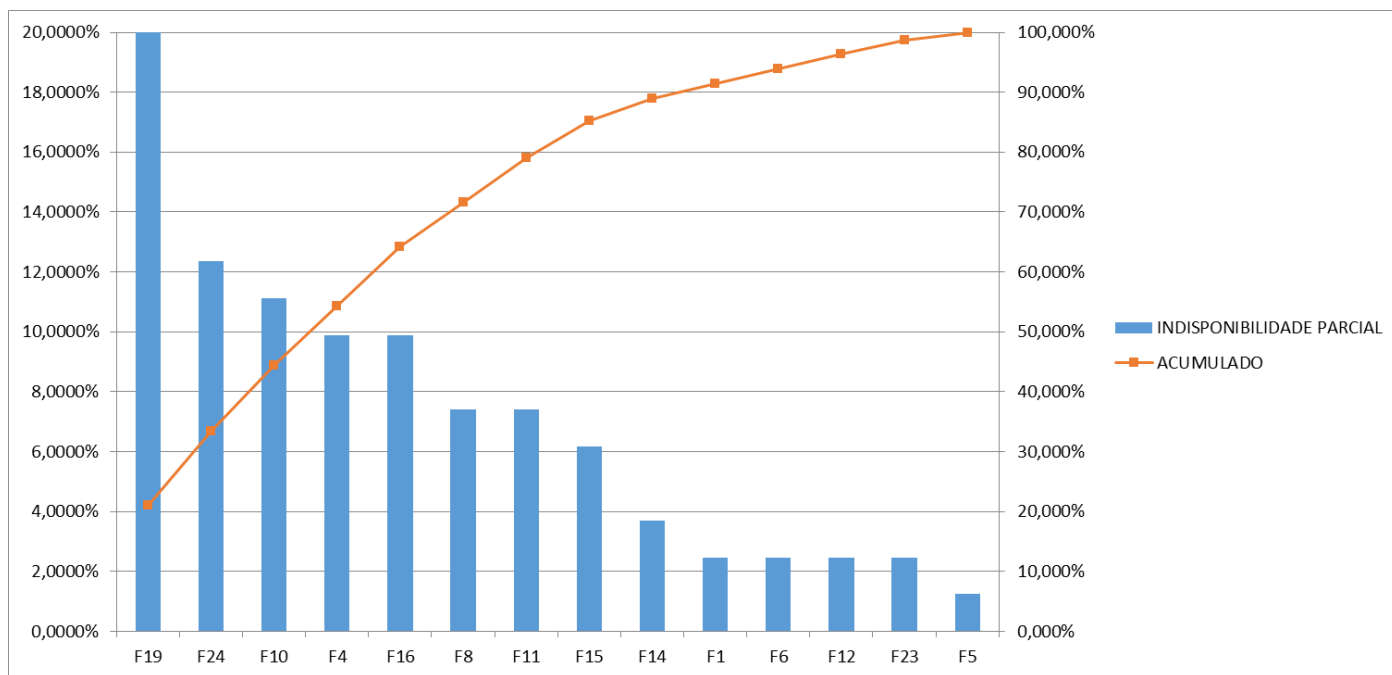
MÁQUINA F08		
AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F1	18,3333%	18,333%
F19	18,3333%	36,667%
F11	15,0000%	51,667%
F6	13,3333%	65,000%
F4	10,0000%	75,000%
F3	5,0000%	80,000%
F10	5,0000%	85,000%
F12	5,0000%	90,000%
F14	3,3333%	93,333%
F21	3,3333%	96,667%
F8	1,6667%	98,333%
F24	1,6667%	100,000%



MÁQUINA F10		
AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F8	23,7288%	23,729%
F4	15,2542%	38,983%
F1	11,8644%	50,847%
F19	11,8644%	62,712%
F11	8,4746%	71,186%
F10	6,7797%	77,966%
F3	5,0847%	83,051%
F9	5,0847%	88,136%
F16	5,0847%	93,220%
F24	3,3898%	96,610%
F6	1,6949%	98,305%
F21	1,6949%	100,000%



MÁQUINA F11		
AVARIA	INDISPONIBILIDADE PARCIAL	ACUMULADO
F19	20,9877%	20,988%
F24	12,3457%	33,333%
F10	11,1111%	44,444%
F4	9,8765%	54,321%
F16	9,8765%	64,198%
F8	7,4074%	71,605%
F11	7,4074%	79,012%
F15	6,1728%	85,185%
F14	3,7037%	88,889%
F1	2,4691%	91,358%
F6	2,4691%	93,827%
F12	2,4691%	96,296%
F23	2,4691%	98,765%
F5	1,2346%	100,000%



ANEXO D: Análise de Pareto ao custo das avarias por máquina

F02									
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQUÊNCIA DE AVARIA	CUSTO DE PARAGEM	CUSTO DE REPARAÇÃO	CUSTO MAN. PREV	CUSTO DE PARAGEM TOTAL
F1	0,00021	5	23275,000	5,000	1,000	275,000 €	722,727 €	722,727 €	22 595,265 €
F5	0,00021	5	7758,333	1,667	3,000	91,667 €	124,487 €	41,496 €	
F7	0,00056	13	7755,667	4,333	3,000	238,333 €	72,727 €	24,242 €	
F8	0,00021	5	7758,333	1,667	3,000	91,667 €	315,625 €	105,208 €	
F10	0,00026	6	5818,500	1,500	4,000	82,500 €	10 027,273 €	2 506,818 €	
F11	0,00013	3	23277,000	3,000	1,000	165,000 €	513,636 €	513,636 €	
F12	0,00017	3	11638,000	2,000	2,000	110,000 €	613,636 €	309,091 €	
F14	0,00017	4	23276,000	4,000	1,000	220,000 €	82,032 €	82,032 €	
F15	0,00017	3	11638,000	2,000	2,000	110,000 €	1 213,636 €	609,091 €	
F19	0,00047	11	11634,500	5,500	2,000	302,500 €	3 565,000 €	1 782,500 €	
F20	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	106,818 €	106,818 €	
F24	0,00047	11	4653,800	2,200	5,000	121,000 €	3 375,000 €	675,000 €	

F03									
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	CUSTO DE PARAGEM	CUSTO DE REPARAÇÃO	CUSTO MAN. PREV	CUSTO DE PARAGEM TOTAL
F3	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	38,465 €	38,465 €	21 380,486 €
F4	0,00017	4	11638,000	2,000	2,000	110,000 €	80,282 €	40,141 €	
F5	0,00009	2	11639,000	1,000	2,000	55,000 €	76,931 €	38,465 €	
F7	0,00021	5	11637,500	2,500	2,000	137,500 €	31,818 €	15,909 €	
F8	0,00009	2	23278,000	2,000	1,000	110,000 €	106,250 €	106,250 €	
F9	0,00017	4	23276,000	4,000	1,000	220,000 €	1 218,182 €	1 218,182 €	
F10	0,00047	11	5817,250	2,750	4,000	151,250 €	10 050,000 €	2 512,500 €	
F11	0,00013	3	23277,000	3,000	1,000	165,000 €	513,636 €	513,636 €	
F12	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	304,545 €	304,545 €	
F14	0,00021	5	7758,333	1,667	3,000	91,667 €	214,277 €	71,426 €	
F16	0,00013	3	23277,000	3,000	1,000	165,000 €	333,636 €	333,636 €	
F19	0,00039	9	11635,500	4,500	2,000	247,500 €	3 542,273 €	1 771,136 €	
F20	0,00026	6	11637,000	3,000	2,000	165,000 €	240,909 €	120,455 €	
F24	0,00052	12	5817,000	3,000	4,000	165,000 €	2 736,364 €	684,091 €	

F04									
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	CUSTO DE PARAGEM	CUSTO DE REPARAÇÃO	CUSTO MAN. PREV	CUSTO DE PARAGEM TOTAL
F2	0,00021	5	23275,000	5,000	1,000	275,000 €	1 022,727 €	1 022,727 €	29 274,211 €
F4	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	35,595 €	35,595 €	
F6	0,00013	3	23277,000	3,000	1,000	165,000 €	44,686 €	44,686 €	
F7	0,00017	4	23276,000	4,000	1,000	220,000 €	22,727 €	22,727 €	
F9	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	1 204,545 €	1 204,545 €	
F10	0,00026	6	4654,800	1,200	5,000	66,000 €	12 527,273 €	2 505,455 €	
F11	0,00021	5	11637,500	2,500	2,000	137,500 €	1 022,727 €	511,364 €	
F14	0,00052	12	7756,000	4,000	3,000	220,000 €	246,095 €	82,032 €	
F19	0,00047	11	4653,800	2,200	5,000	121,000 €	8 725,000 €	1 745,000 €	
F20	0,00013	3	23277,000	3,000	1,000	165,000 €	120,455 €	120,455 €	
F21	0,00017	4	23276,000	4,000	1,000	220,000 €	47,273 €	47,273 €	
F22	0,00009	2	11639,000	1,000	2,000	55,000 €	342,727 €	171,364 €	
F24	0,00030	7	7757,667	2,333	3,000	128,333 €	2 029,545 €	676,515 €	

F05									
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	CUSTO DE PARAGEM	CUSTO DE REPARAÇÃO	CUSTO MAN. PREV	CUSTO DE PARAGEM TOTAL
F1	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	704,545 €	704,545 €	20 989,824 €
F4	0,00009	2	11639,000	1,000	2,000	55,000 €	71,191 €	35,595 €	
F7	0,00009	2	23278,000	2,000	1,000	110,000 €	13,636 €	13,636 €	
F8	0,00009	2	11639,000	1,000	2,000	55,000 €	206,250 €	103,125 €	
F9	0,00034	8	23272,000	8,000	1,000	440,000 €	1 236,364 €	1 236,364 €	
F10	0,00013	3	7759,000	1,000	3,000	55,000 €	7 513,636 €	2 504,545 €	
F14	0,00021	5	7758,333	1,667	3,000	91,667 €	214,277 €	71,426 €	
F15	0,00021	5	23275,000	5,000	1,000	275,000 €	622,727 €	622,727 €	
F17	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	13,636 €	11,364 €	
F19	0,00069	16	5816,000	4,000	4,000	220,000 €	7 061,818 €	1 765,455 €	
F20	0,00021	5	7758,333	1,667	3,000	91,667 €	334,091 €	111,364 €	
F24	0,00021	5	11637,500	2,500	2,000	137,500 €	1 356,818 €	678,409 €	

F07									
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	CUSTO DE PARAGEM	CUSTO DE REPARAÇÃO	CUSTO MAN. PREV	CUSTO DE PARAGEM TOTAL
F1	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	704,545 €	704,545 €	41 450,412 €
F3	0,00017	4	23276,000	4,000	1,000	220,000 €	52,102 €	52,102 €	
F4	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	35,595 €	35,595 €	
F6	0,00026	6	7758,000	2,000	3,000	110,000 €	120,423 €	40,141 €	
F8	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	103,125 €	103,125 €	
F10	0,00034	8	7757,333	2,667	3,000	146,667 €	7 536,364 €	2 512,121 €	
F13	0,00026	6	7758,000	2,000	3,000	110,000 €	15 027,273 €	5 009,091 €	
F19	0,00095	22	2907,250	2,750	8,000	151,250 €	14 010,000 €	1 751,250 €	
F21	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	26,818 €	26,818 €	
F24	0,00047	11	5817,250	2,750	4,000	151,250 €	2 725,000 €	681,250 €	

F08									
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	CUSTO DE PARAGEM	CUSTO DE REPARAÇÃO	CUSTO MAN. PREV	CUSTO DE PARAGEM TOTAL
F1	0,00047	11	7756,333	3,667	3,000	201,667 €	750,000 €	716,667 €	17 268,607 €
F3	0,00013	3	23277,000	3,000	1,000	165,000 €	47,556 €	47,556 €	
F4	0,00026	6	7758,000	2,000	3,000	110,000 €	120,423 €	40,141 €	
F6	0,00034	8	11636,000	4,000	2,000	220,000 €	98,464 €	49,232 €	
F8	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	103,125 €	103,125 €	
F10	0,00013	3	11638,500	1,500	2,000	82,500 €	5 013,636 €	2 506,818 €	
F11	0,00039	9	7757,000	3,000	3,000	165,000 €	1 540,909 €	513,636 €	
F12	0,00013	3	11638,500	1,500	2,000	82,500 €	313,636 €	306,818 €	
F14	0,00009	2	23278,000	2,000	1,000	110,000 €	72,941 €	72,941 €	
F19	0,00047	11	5817,250	2,750	4,000	151,250 €	7 005,000 €	1 751,250 €	
F21	0,00009	2	23278,000	2,000	1,000	110,000 €	33,636 €	33,636 €	
F24	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	661,364 €	661,364 €	

F10									
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQÜÊNCIA DE AVARIA	CUSTO DE PARAGEM	CUSTO DE REPARAÇÃO	CUSTO MAN. PREV	CUSTO DE PARAGEM TOTAL
F1	0,00030	7	5818,250	1,750	4,000	96,250 €	731,818 €	707,955 €	16 187,335 €
F3	0,00013	3	23277,000	3,000	1,000	165,000 €	47,556 €	47,556 €	
F4	0,00039	9	11635,500	4,500	2,000	247,500 €	103,009 €	51,505 €	
F6	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	35,595 €	35,595 €	
F8	0,00060	14	3877,667	2,333	6,000	128,333 €	643,750 €	107,292 €	
F9	0,00013	3	23277,000	3,000	1,000	165,000 €	1 213,636 €	1 213,636 €	
F10	0,00017	4	23276,000	4,000	1,000	220,000 €	2 518,182 €	2 518,182 €	
F11	0,00021	5	11637,500	2,500	2,000	137,500 €	1 022,727 €	511,364 €	
F16	0,00013	3	11638,500	1,500	2,000	82,500 €	653,636 €	326,818 €	
F19	0,00030	7	5818,250	1,750	4,000	96,250 €	6 959,545 €	1 739,886 €	
F21	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	26,818 €	26,818 €	
F24	0,00009	2	23278,000	2,000	1,000	110,000 €	672,727 €	672,727 €	

F11									
AVARIA	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (%)	INDISPONIBILIDADE POR AVARIA (h)	MTBF POR AVARIA (h)	MTTR POR AVARIA (h)	FREQUÊNCIA DE AVARIA	CUSTO DE PARAGEM	CUSTO DE REPARAÇÃO	CUSTO MAN. PREV	CUSTO DE PARAGEM TOTAL
F1	0,00009	2	11639,000	1,000	2,000	55,000 €	1 409,091 €	704,545 €	32 011,724 €
F4	0,00034	8	7757,333	2,667	3,000	146,667 €	129,514 €	43,171 €	
F5	0,00004	1	23279,000	1,000	1,000	55,000 €	38,465 €	35,595 €	
F6	0,00009	2	11639,000	1,000	2,000	55,000 €	40,141 €	35,595 €	
F8	0,00026	6	23274,000	6,000	1,000	330,000 €	100,000 €	118,750 €	
F10	0,00039	9	7757,000	3,000	3,000	165,000 €	7 540,909 €	2 513,636 €	
F11	0,00026	6	11637,000	3,000	2,000	165,000 €	1 027,273 €	513,636 €	
F12	0,00009	2	23278,000	2,000	1,000	110,000 €	309,091 €	309,091 €	
F14	0,00013	3	23277,000	3,000	1,000	165,000 €	77,486 €	77,486 €	
F15	0,00021	5	23275,000	5,000	1,000	275,000 €	622,727 €	622,727 €	
F16	0,00034	8	23272,000	8,000	1,000	440,000 €	356,364 €	356,364 €	
F19	0,00073	17	2907,875	2,125	8,000	116,875 €	13 953,182 €	1 744,148 €	
F23	0,00009	2	23278,000	2,000	1,000	110,000 €	113,636 €	113,636 €	
F24	0,00043	10	3878,333	1,667	6,000	91,667 €	4 013,636 €	668,939 €	

ANEXO E: Análise FMECA

MÁQUINAS DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO				
Itens	Funções desempenhadas	Falhas	Consequências das falhas	Causas das falhas
Robot alimentador de alumínio fundido	Derramar alumínio fundido na máquina para ser injetado	Avaria nos fins de curso (F5)	Paragem do robot e paragem de todo o processo	Excessivo desgaste dos fins de curso, sujidade
		Avaria nos elementos mecânicos (F19)	Paragem do robot e paragem de todo o processo	Excessivo uso e desgaste mecânico dos cabos de alimentação e controlo
		Avaria nas varetas de nível (F23)	Paragem do robot e paragem de todo o processo	Excessivo desgaste e falta de manutenção e limpeza dos elementos móveis
		Desgaste do cabaço/cadinho (F11)	Derrame de alumínio fundido, perigo de acidente, paragem do robot e paragem de todo o processo	Excessivo uso e desgaste do cabaço. Ultrapassado o tempo de vida útil
Forno fusor	Aquecer, derreter e manter o alumínio fundido	Pirómetro (F21)	Falha na medição de temperatura no interior do forno, solidificação da matéria prima, paragem de todo o processo	Excessivas horas de trabalho. Falta de limpeza
		Avaria no queimador (F10)	Arrefecimento e solidificação de todo o alumínio fundido. Paragem de todo o processo	Excessivas horas de trabalho. Falta de limpeza de filtros e elementos de desgaste

Máquina de injeção	Injeção do alumínio fundido em molde	Quebra de pistón (F9)	Impossibilidade de pressão e injeção do alumínio fundido no molde, paragem de todo o processo	Excesso de utilização
		Avaria nos fins de curso do pistón (F6)	Impossibilidade de confirmação de fim de movimento do pistón para ordem de movimento seguinte, paragem de todo o processo	Excessivo desgaste dos fins de curso, sujidade
		Quebra de guias (F16)	Impossibilidade de abertura e fecho da máquina, paragem de todo o processo	Bloqueio de movimentos de fecho e abertura da máquina, paragem de todo o processo
		Fins de curso de fecho automático da porta (F3)	Por proteção, a porta lateral da máquina abre e fecha com o fecho da máquina, paragem de todo o processo	Prgramação de forças de fecho da máquina desequilibradas
		Fins de curso de fecho da máquina (F4)	Impossibilidade de confirmação de fim de movimento da máquina para ordem de movimento seguinte, paragem de todo o processo	Excessivo desgaste dos fins de curso, sujidade
		Bomba hidráulica (F1)	Falta de força hidráulica na máquina, paragem de todo o processo	Excessivo desgaste dos elementos constituintes, falta de limpeza de filtros e óleo
		Motor da bomba hidráulica (F2)	Derrame de óleo, perda de força hidráulica na máquina, paragem de todo o processo	Excessivo uso, desgaste e envelhecimento das tubagens. Ultrapassado o tempo de vida útil
		Bomba de lubrificação (F12)	Falta de lubrificação de elementos móveis da máquina, paragem de todo o processo caso a reparação não seja imediata	Excessivo desgaste dos elementos constituintes, falta de limpeza de filtros e óleo
		Eletricidade (14)	Falha de alimentação elétrica ou sinais de comando podendo provocar a paragem de todo o processo	Excessivo uso e desgaste mecânico dos cabos de alimentação e controlo, agressões involuntárias à integridade dos cabos
		Automação (F8)	Bloqueio dos autómatos, paragem de todo o processo	Envelhecimento dos equipamentos, falta de proteção a injeção de ruído nos sinais
		Ensaio fins de curso (F7)	Ensaio dos fins de curso dos vários mecanismos, paragem de todo o processo	Ensaio dos fins de curso de todo o sistema
		Alimentador das máquinas de Zamak (F15)	Falha na recolha do zamak para o pistón, paragem de todo o processo	Entupimento da entrada de Zamak, sujidade acumulada
		Óleo hidráulico + filtros (F16)	Sujidade no óleo, colmatação de filtros, perda de força hidráulica, paragem de todo o processo	Excessivas horas de trabalho. Falta de limpeza de filtros e elementos de desgaste
		Reconstrução de portas de segurança (F17)	Detioração e obrigatoria reconstrução das portas de segurança, paragem de todo o processo	Envelhecimento dos equipamentos, falta de proteção, uso excessivo
		Contador de injeções (F19)	Falha de contagem de peças injetadas, paragem recomendada de todo o processo	Excessivas horas de trabalho. Falta de limpeza
		Válvula progressiva de fecho de máquina (F20)	Bloqueio da abertura da máquina, falha no curso de abertura da máquina, paragem de todo o processo	Excessivas horas de trabalho. Falta de limpeza de circuito hidráulico
Encoder pistón (F22)	Falha no registo de posição e movimento do pistón	Excessivas horas de trabalho. Elevada sujidade. Degradação do equipamento		
Mecanismos porta (F24)	Falha nos elementos mecânicos da porta de proteção, paragem de todo o processo	Envelhecimento dos equipamentos, uso excessivo		

Esta página foi intencionalmente deixada em branco