



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

**ISEL**



## **Melhoria da Qualidade do Produto numa Empresa de Produção por Lotes**

**DANIEL FILIPE INÁCIO DOS SANTOS**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor António João P. da Costa Feliciano Abreu  
Engenheiro Pedro Soares Barbosa

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutora Isabel Maria da Silva João  
Doutor António João P. da Costa Feliciano Abreu

**Dezembro de 2015**





**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

# **Melhoria da Qualidade do Produto numa Empresa de Produção por Lotes**

**DANIEL FILIPE INÁCIO DOS SANTOS**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor António João P. da Costa Feliciano Abreu  
Engenheiro Pedro Soares Barbosa

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutora Isabel Maria da Silva João  
Doutor António João P. da Costa Feliciano Abreu

**Dezembro de 2015**



## **Dedicatória**

Dedico este trabalho de final de mestrado à minha família e namorada, mas principalmente aos meus pais que, apesar das dificuldades, deram-me sempre força e a possibilidade de adquirir conhecimentos e experiências e evoluir como pessoa ao longo deste percurso académico.



## **Agradecimentos**

Aos meus orientadores Professor António Abreu e Eng.º Pedro Barbosa pelo apoio, disponibilidade e preocupação.

Ao Professor Rui Chedas Sampaio, Eng.º João Casquinho e Sofia Terrão também pelo apoio e por fazerem com que este estágio tivesse sido possível.

À empresa Tetra Pak Tubex Portugal e aos seus colaboradores pela oportunidade, simpatia, acolhimento e compreensão ao longo do estágio.

À minha família, namorada e amigos pelo apoio e motivação, não só durante o estágio, mas por todo o curso.

Daniel Santos  
Dezembro de 2015



## **Resumo**

Actualmente o maior foco das empresas é a sua competitividade e conseqüentemente a dos seus produtos. Para isto cada vez mais as organizações tendem a adoptar metodologias de melhoria da qualidade do seu processo e produto, isto para minimizar gastos e maximizar lucros.

Este trabalho pretende expor de como se faz essa melhoria, através do resultado de um estágio curricular na empresa Tetra Pak Tubex Portugal. O presente documento centra-se em mostrar, através de alguns exemplos práticos, simples e complexos, de como melhorar o produto numa empresa que utiliza uma metodologia de Manutenção Produtiva Total (MPT).

Primeiro, relativamente ao corpo do trabalho, descreve-se a empresa em questão, os seus produtos e metodologia de gestão. Depois segue-se o capítulo do estado da arte, que descreve metodologias e ferramentas da qualidade (5S, OEE, Análise P-M e Desenho de Experiências) do mercado actual, com especial atenção à MPT. Posteriormente são apresentadas as melhorias da qualidade realizadas durante o estágio na empresa, ao processo e ao produto.

No final do trabalho é feita uma análise global às melhorias, em forma de conclusão. Nessa mesma fase, faz-se também uma apreciação de como decorreu o estágio ao longo dos oito meses, com a apreciação do autor.

## **Palavras-chave**

Manutenção Produtiva Total; Análise P-M; Desenho de Experiências; Melhoria do Produto; Gestão da Qualidade



## **Abstract**

Currently the main focus of the companies is their competitiveness and the competitiveness of their products. For this, companies increasingly tend to adopt improvement methodologies for their processes and in consequence for their products. All this to trying minimize losses and maximize profits.

In this document, is made an exposure on how that improvement is performed, through the result of an internship in the company Tetra Pak Tubex Portugal. The present information focuses on showing to the reader, by some practical simple and complex examples, how it's made some improvements on a process and respective products in a company that uses a Total Productive Maintenance methodology (TPM).

At first, is made a description of the company and of the products and methodologies of it. After that, there is a state of the art about some of the most used methodologies and quality tools (5S, OEE, P-M Analysis and Design of Experiments) of the current market and it's made a special attention to the TPM methodology. Then, in the quality improvement examples chapter, the improvements made in the company process and products will be presented.

In the end of this document it's made a global analysis of the improvements, in a conclusion structure. In this same phase, the author of this document gives an appreciation about the eight months of internship.

## **Keywords**

Total Productive Maintenance; P-M Analysis; Design of Experiments (DOE); Product Improvement; Quality Management



## **Abreviaturas**

**5C0D-** 5 Condições para 0 Defeitos

**ANOVA-** Análise de Variância

**BRC-** British Retail Consortium

**DMS-** Daily Management System

**DOE-** Design of Experiments

**EE-** Equipment Efficiency

**IoP-** Institute of Packaging

**JIPM-** Japan Institute of Plant Maintenance

**MPT-** Manutenção Produtiva Total

**OEE-** Overall Equipment Efficiency

**OPL-** One Point Lesson

**PM-** Planned Maintenance

**P-M Analysis -** Análise de mecanismos físicos/ Análise P-M

**QA-** Quality Assurance

**QM-** Quality Maintenance

**SOP-** Standard Operating Procedure

**SU's-** Sensory Machines

**TEE-** Total Equipment Efficiency/Effectiveness

**TPM-** Total Productive Maintenance

**TPTP-** Tetra Pak Tubex Portugal

**U's-** U Machines

**WCM-** World Class Manufacturing

**Z-F-** Z-Folder



# Índice

1- Introdução .....	2
1.1 - Enquadramento .....	2
1.2 - Objectivos do Trabalho.....	2
1.3 – Estrutura do Trabalho.....	3
2 – Empresa.....	4
2.1 - Empresa Tetra Pak Tubex Portugal .....	4
2.1.1 - Tetra Pak.....	4
2.1.2 - História.....	5
2.1.3 - Tetra Pak Tubex Portugal .....	6
2.1.4 - Certificações .....	9
2.2 - Produto.....	10
2.3 - Metodologia .....	12
3 - Estado da Arte.....	14
3.1 - Qualidade.....	14
3.2 - Melhoria da Qualidade.....	16
3.3 - Metodologias de gestão.....	17
3.3.1 - Produção Magra.....	18
3.3.2 - Manutenção Produtiva Total (TPM) .....	20
3.3.3 - Seis Sigma.....	23
3.3.4 - Gestão da Qualidade Total (TQM) .....	25
3.3.5 - Comparação das metodologias apresentadas .....	27
3.4 – Fundamentos da Manutenção Produtiva Total.....	29
3.5 - Ferramentas da Qualidade.....	32
4 – Conceitos Específicos .....	46
4.1 – Breve descrição da produção de palhinhas.....	46
4.2 – Conceitos.....	47
5 - Melhoria da Qualidade do Produto .....	50
5.1 – Fortificação da monitorização do processo na área da extrusão .....	51
5.1.1 - Apresentação de dados - Actualização e análise do desperdício do processo de extrusão .. .....	51
5.1.2 – Cálculo do TEE - Melhoria da apresentação dos resultados do desperdício feito no processo de extrusão.....	53
5.1.3 – Matrizes de Qualidade na extrusão .....	61
5.1.4 - Folha de registo do peso para controlo de qualidade na extrusão.....	66
5.2 – Redução de Defeitos.....	67

5.2.1 - Equipa - <i>Bent Staw/ Palha Torta (Análise P-M)</i> .....	67
5.2.1.1 DOE – Palha Torta .....	94
5.2.2 - <i>Check List</i> das Z-Folders e respectiva formação .....	112
5.2.3 - OPL Inspeção da resistência do filme de palhinhas .....	113
5.2.4 - Melhoraria do processo satisfazendo os requisitos de um cliente em específico – aquisição de candeeiros com lupa .....	115
6 – Conclusões .....	116
Referências Bibliográficas .....	118
Anexo 1 – Certificado Oferecido pela TPTP na Colaboração em Promover a Empresa ao Prémio: <i>Factory of the Year 2014</i> .....	122
Anexo 2 – Tabela da Distribuição de Fisher-Snedecor .....	124
Anexo 3 – Folha de Registo do Desperdício Material na Extrusão .....	126
Anexo 4 – Folha de Registo do Desperdício Temporal na Extrusão .....	128
Anexo 5 – Tabelas dinâmicas – exemplo prático.....	130

## Índice de Figuras

Figura 1: Estampa do lema da Tetra Pak [1] .....	4
Figura 2: Primeiro tipo de embalagem de leite criada pela empresa Tetra Pak [2].....	5
Figura 3: Exemplo da embalagem Tetra Brik® [2].....	6
Figura 4: Palhinhas Tetra Pak Tubex [6].....	6
Figura 5: Esquema da organização da Tetra Pak onde está integrada a TPTP.....	7
Figura 6: Palhinhas Direitas (S's) [6] .....	10
Figura 7: Palhinhas em forma de U (U's) [6] .....	11
Figura 8: Palhinhas Sensory (SU's) [6] .....	11
Figura 9: Ciclo PDCA – adaptado [8].....	17
Figura 10: Esquema da Produção Magra .....	19
Figura 11: Pilares Base do TPM .....	23
Figura 12: Significado de P-M Analysis [35] .....	35
Figura 13: Modelo de um processo que se pode aplicar o DOE - adaptado [36].....	36
Figura 14: Esquema da produção de palhinhas .....	47
Figura 15: Filme de palhinhas.....	48
Figura 16: Exemplo de etiquetas dos pontos C e Q .....	49
Figura 17: Representação de um Vórtice .....	49
Figura 18: Actividades de melhoria da qualidade do produto realizadas na empresa.....	50
Figura 19: Qualidade da cor não é boa, são observáveis dois tons de verde, o que não é aceitável.....	51
Figura 20: Parte do ficheiro em Excel em que se actualiza o desperdício gerado [minutos].....	52
Figura 21: Parte do ficheiro em Excel em que se actualiza o desperdício gerado [Kg].....	52
Figura 22: Contador Tipo.....	53
Figura 23: Perdas temporais e TEE- adaptado [7] .....	57
Figura 24: Método de cálculo da velocidade da extrusora 226.....	58
Figura 25: Matriz da Qualidade - Variável Crítica.....	62
Figura 26: Parâmetro: Matriz QA .....	63
Figura 27: Parâmetro: Matriz QM.....	64
Figura 28: Parâmetro: Matriz 5C0D.....	64
Figura 29: Parâmetro: Matriz do Nível do Equipamento e Componente .....	65
Figura 30: Excerto da folha de registo do peso .....	67
Figura 31: Definição de palha torta pela equipa.....	68
Figura 32: Esquema de diferentes objectivos que existem com esta equipa para as diferentes áreas da empresa. ....	69
Figura 33: Passos da Rota de <i>P-M Analysis</i> [7] .....	70

Figura 34: Apalpa-folgas.....	71
Figura 35: Representação do acto de medição com o apalpa-folgas.....	71
Figura 36: Indicador de desempenho inicial .....	71
Figura 37: Simplificação da Máquina de acomodação de palhinhas - Z-Folder, feita em <i>SolidWorks</i> .....	72
Figura 38: Mau espalhamento numa caixa da reclamação.....	73
Figura 39: Resultado do mau espalhamento: palha torta com vinco.....	73
Figura 40: Resultado do mau espalhamento: palha torta uniformemente .....	74
Figura 41: Representação simplificada em <i>SolidWorks</i> do espalhamento das palhinhas. A vermelho encontra-se o falado espaço vazio que vai dar liberdade à palhinha para dobrar.....	76
Figura 42: Representação das zonas de maior concentração de defeitos (a vermelho) por palha torta na caixa de acomodação (vista lateral). .....	76
Figura 43: 1 - Espalhamento com ondas; 2 – Caixa não usada na totalidade (exemplo exagerado) .....	77
Figura 44: Representação simplificada de um mau apoio das palhinhas, que cria palha torta. Deve haver mais apoios no corpo da palha para a flecha máxima ser menor e este defeito não ser criado.....	77
Figura 45: Representação da aplicação de pressão nas palhinhas, pelo operador, para posteriormente cerrar a caixa. ....	77
Figura 46: Desvios ao espalhamento normal .....	78
Figura 47: Representação do Fenómeno - <i>Bent Straw</i> /Palha Torta.....	79
Figura 48: Representação dos mecanismos - Z-Folder .....	80
Figura 49: Direcções da caixa de acomodação .....	81
Figura 50: Componentes do Sistema da Velocidade dos Rolos (V1) .....	82
Figura 51: Componentes da anti estática.....	82
Figura 52: Componentes do Sistema da Velocidade dos Espalhadores (V2) .....	83
Figura 53: Componentes do sistema da Velocidade do Tabuleiro (V3) .....	84
Figura 54: Componentes de um Sistema Auxiliar de reencaminhamento do filme na máquina - Rolos Guia.....	85
Figura 55: Exemplo de uma etiqueta aberta.....	87
Figura 56: Indicador de desempenho com condições básicas repostas .....	88
Figura 57: Sistema V1.....	91
Figura 58: Equação da velocidade V1.....	92
Figura 59: Sistema V2.....	92
Figura 60: Equação da velocidade V2.....	92
Figura 61: Sistema V3.....	93
Figura 62: Equação da velocidade V3.....	94

Figura 63: Modelo do processo de acomodação utilizado no DOE .....	96
Figura 64: Modelo geométrico do DOE de 3 factores a 2 níveis aplicado a esta equipa - adaptado [41].....	96
Figura 65: Polia para variar o nível de V1 – desenho facultado ao fornecedor para fabricar a polia para o DOE.....	97
Figura 66: Polia para variar o nível de V2 – desenho proporcionado ao fornecedor para fabricar a polia para o DOE.....	98
Figura 67: Representação do sistema que faz a velocidade V3 funcionar de forma independente no DOE.....	98
Figura 68: Melhoria: Redução da frequência do motor .....	109
Figura 69: Representação das vistas da caixa de acomodação - espalhamento deficiente nas laterais .....	109
Figura 70: Representação da acumulação nas laterais da Z-Folder com os espalhadores modificados .....	110
Figura 71: Espalhamento com as duas melhorias descritas.....	110
Figura 72: Proposta de melhoria – sistema que dá independência à velocidade do tabuleiro...	111
Figura 73: Excerto da <i>check list</i> de verificação de condições básicas .....	112
Figura 74: Excerto da OPL - Inspeção da resistência do filme .....	114
Figura 75: Certificado de colaboração na ajuda de promoção da empresa TPTP ao prémio: <i>Factory of the Year</i> 2014.....	123
Figura 76: Folha de Registo do Desperdício Material na Extrusão.....	127
Figura 77: Folha de Registo do Desperdício Temporal na Extrusão.....	129
Figura 78: Criação da Pivot Table para o exemplo de explicação. ....	131
Figura 79: Filtro para aparecer apenas o responsável e o número de vezes que realizou a revisão. ....	131



## Índice de Tabelas

Tabela 1: Definições de Qualidade – adaptado [9] .....	15
Tabela 2: Sigma vs Defeitos – adaptado [22].....	24
Tabela 3: Comparação das metodologias de gestão – adaptado [10] [14] [13].....	27
Tabela 4: Exemplo de matriz de planeamento - adaptado [36] .....	41
Tabela 5: Exemplo de matriz de planeamento com resposta e somatórios - adaptado [36].....	42
Tabela 6: Tabela ANOVA - adaptado [36] .....	43
Tabela 7: TEE com valores iniciais - com erro de velocidade. ....	57
Tabela 8: TEE como valor de velocidade correcto. ....	58
Tabela 9: Medição das velocidades da Z-Folder: Condições iniciais. ....	74
Tabela 10: Classificação do fenómeno - 5W's-1H .....	75
Tabela 11: Standards da Z-Folder [7] .....	86
Tabela 12: Etiquetas levantadas .....	87
Tabela 13: Interação de parâmetros.....	89
Tabela 14: Níveis das variáveis do DOE .....	96
Tabela 15: Matriz do planeamento factorial – DOE .....	99
Tabela 16: Respostas dos DOE (R1 e R2) e Soma das linhas.....	99
Tabela 17: Espalhamento das experiências do DOE - Vista lateral .....	100
Tabela 18: Tabela dos Contrastes, Efeitos, Soma dos Quadrados e Somatórios para o DOE - Palha torta.....	103
Tabela 19: Tabela ANOVA do DOE - Palha torta.....	104
Tabela 20: Distribuição Fisher-Snedecor – Aplicado a DOE – Palha torta [36].....	104
Tabela 21: Factores significantes e percentagens.....	105
Tabela 22: Respostas do DOE (R1 e R2).....	106
Tabela 23: Excerto da Matriz de QM da Doctor/Z-Folder.....	107
Tabela 24: Pontos C e Q da Z-Folder.....	107
Tabela 25: Plano de Inspeções das Doctor/ Z-Folders .....	108
Tabela 26: Distribuição de Fisher-Snedecor [41].....	125
Tabela 27: Exemplo de aplicação das Pivot Tables – Dados Iniciais. ....	131
Tabela 28: Pivot Table do exemplo de explicação.....	131



## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Exemplo de um diagrama de Pareto .....	33
Gráfico 2: Desperdício de material na extrusão num dia, por máquina. ....	54
Gráfico 3: Desperdício de material na extrusão num dia, total. ....	55
Gráfico 4: Evolução da Sujidade no plástico em 2014 – Mensal.....	55
Gráfico 5: TEE e perdas por máquina. ....	60
Gráfico 6: TEE e perdas - total diário. ....	60



## Nomenclatura

<b>Símbolo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição</b>
Kg	Kg	Massa em quilogramas
g	g	Massa em gramas
T	°C	Temperatura
x ou l	m ou mm	Distância
v ou V	m/s	Velocidade linear
St	kV/inch	Estática
n	RPM	Rotações por minuto
w	rad/s	Velocidade angular
f	Hz	Frequência
r	m ou mm	Raio



# **1- Introdução**

## **1.1 - Enquadramento**

Nos dias que decorrem a qualidade de um produto é um dos maiores focos e desafios para as empresas. A oferta ao cliente deve ser credível e confiável, uma vez que o comprador quer adquirir um produto que se comporte e se apresente de acordo com um nível expectável de aparência, desempenho e segurança, estando sempre a imagem da empresa em jogo. Resultado do que foi referido, as empresas têm de ter cada vez mais metodologias e ferramentas para melhoria contínua da qualidade, não só do produto mas de todo o processo, para se manterem competitivas e sustentáveis.

Devido a uma grande oferta de produtos, de várias empresas a lutarem pela supremacia de um produto similar, a empresa com maior eficiência de produção e qualidade, ou seja com melhor relação lucros/perdas, é a que vai ser escolhida. Por isso a melhoria contínua ser crucial para a competição e liderança.

Em resposta a esta necessidade de melhoria de qualidade, surgiu o desenvolvimento deste trabalho, integrado num estágio de natureza profissional numa empresa de produção de palhinhas para bebidas – Tetra Pak Tubex Portugal, em Carnaxide.

## **1.2 - Objectivos do Trabalho**

Neste Trabalho Final de Mestrado, sob forma de descrição do Estágio de Natureza Profissional, pretende-se alcançar os seguintes objectivos:

- Caracterizar os conceitos e metodologias no ramo da qualidade do produto, com ligação directa à empresa em estudo;
- Melhorar o produto através da melhoria do processo em termos do tratamento e análise de resultados de medições e também através da aplicação de metodologias e ferramentas simples e complexas para obter uma melhoria contínua e consistente da qualidade;
- Responder a problemas de qualidade do produto.

### **1.3 – Estrutura do Trabalho**

Este Trabalho Final de Mestrado está dividido em seis capítulos, sendo eles os seguintes:

**Capítulo 1 - Introdução**, contém a introdução do trabalho, referindo o seu enquadramento, objectivos e estrutura.

**Capítulo 2 - Empresa**, faz referência à empresa que se realizou o estágio e ao qual se expõe este trabalho, Tetra Pak Tubex Portugal, referindo a história da mesma, a sua ligação à Tetra Pak – multinacional, as suas certificações, produtos e apresenta também um resumo da metodologia que a empresa segue, que depois vai ser melhor definida no capítulo 3.

**Capítulo 3 – Estado da Arte**, desenvolve algumas das metodologias de melhoria da qualidade do produto que mais se utilizam actualmente no mercado. Para além disto, dá uma especial atenção ao MPT, devido a ser a metodologia utilizada pela empresa TPTP, através da definição de algumas ferramentas específicas da mesma metodologia e também outras mais gerais mas que são essenciais para a melhoria da qualidade do processo e por sua vez do produto.

**Capítulo 4 – Conceitos específicos**, apresenta um resumo do processo de produção de palhinhas e refere definições de conceitos utilizados ao longo do trabalho mais propriamente no quinto capítulo.

**Capítulo 5 – Melhoria da Qualidade do Produto**, é o capítulo que contém a essência do trabalho, ou seja, é neste que as melhorias realizadas na fábrica são expostas e explicadas ao pormenor. Note-se que muitas mais melhorias foram feitas na empresa em várias áreas, mas as apresentadas são as que mais impacto tiveram no produto em si e que mais se relacionavam com a qualidade.

**Capítulo 6 - Conclusões**, sumariza as conclusões tiradas ao longo da apresentação das melhorias do capítulo 5 e faz uma breve apreciação do estágio curricular.

## 2 – Empresa

Neste capítulo vai ser feita uma breve caracterização da empresa, dos seus produtos e da sua metodologia de trabalho. Optou-se por falar um pouco dos produtos e da metodologia que a empresa se foca, porque, para se perceber os capítulos seguintes, fica mais compreensível saber qual é o produto e de como a empresa o melhora, com que tipo de metodologia.

### 2.1 - Empresa Tetra Pak Tubex Portugal

A Tetra Pak Tubex Portugal é uma empresa de produção de palhinhas para bebidas que pertence à multinacional Tetra Pak.

Para uma melhor percepção de onde a Tetra Pak Tubex Portugal se insere na empresa Tetra Pak, vai-se definir primeiro esta última.

#### 2.1.1 - Tetra Pak

A Tetra Pak é a maior empresa do mundo em soluções de processamento e envase de alimentos. Trabalhando em estreita parceria com clientes e fornecedores, a Tetra Pak fornece produtos seguros, inovadores e ambientalmente correctos que todos os dias atendem às necessidades de centenas de milhões de pessoas em mais de 170 países do mundo inteiro. A Tetra Pak conta com mais de 23.000 funcionários em mais de 85 países e segue uma metodologia de que é necessário seguir uma liderança industrial responsável com uma abordagem sustentável dos seus negócios. Tem como lema “PROTEGE O QUE É BOM™”, o que reflecte a visão da empresa em disponibilizar alimentos seguros em qualquer lugar [1].



Figura 1: Estampa do lema da Tetra Pak [1]

A Tetra Pak é uma empresa que está organizada por continentes, ou seja, cada fábrica de cada continente normalmente produz para esse continente e para clientes desse continente. Dando o exemplo da Tetra Pak Tubex Portugal, esta produz palhinhas para fábricas de embalagens europeias. Para além disto existem vários departamentos da Tetra Pak, das quais: área das embalagens (que tem no seu interior os materiais adicionais), serviços ao cliente, desenvolvimento do produto, etc.

### 2.1.2 - História

A Tetra Pak foi fundada em 1951 em Lund, na Suécia, por o Dr. Ruben Rausing. Mas o trabalho de desenvolvimento para a criação de uma embalagem de leite, anteriormente inexistente, que oferecesse o máximo de higiene com o mínimo material começou em 1943 por Ruben Rausing também [2].



**Figura 2: Primeiro tipo de embalagem de leite criada pela empresa Tetra Pak [2]**

Com este começo, resumidamente, a empresa foi evoluindo e crescendo continuamente, sempre com foco na inovação. Foi então em 1963, que foi criada a embalagem que mais se utiliza no nosso país, a Tetra Brik® [2].



**Figura 3: Exemplo da embalagem Tetra Brik® [2]**

Em 1970 surge o design de uma embalagem Tetra Brik® mais pequena. Com isto surge a necessidade produção de palhinhas para as pessoas ingerirem o líquido do interior do pacote [2]. Foi então que em 1980, após outras fábricas da área terem sido geradas noutros países, a fábrica de palhinhas em Portugal foi criada – Tetra Pak Tubex Portugal [2]. A fábrica foi gerada com foco na necessidade referida no parágrafo anterior e de responder também ao grande crescimento do consumo do produto das embalagens inerentes às palhinhas.



**Figura 4: Palhinhas Tetra Pak Tubex [6]**

### **2.1.3 - Tetra Pak Tubex Portugal**

Como já referido, a TPTP é uma fábrica de produção de palhinhas para bebidas. Está situada em Carnaxide, perto de Lisboa. Tem cerca de 40 funcionários. Esta empresa está inserida no departamento de embalagens, área de materiais adicionais da Tetra Pak, na subárea das palhinhas.

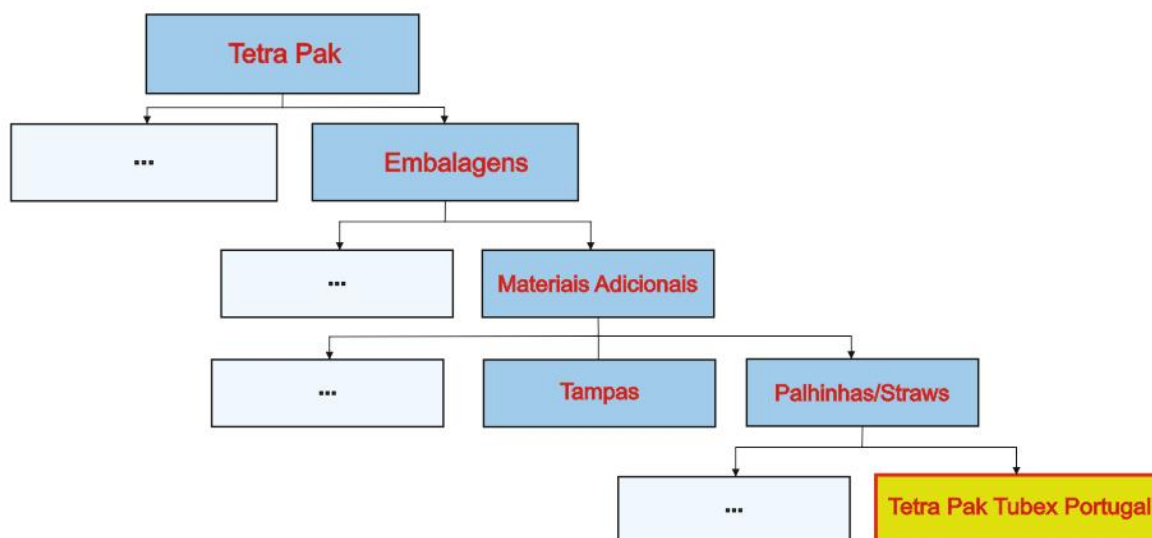


Figura 5: Esquema da organização da Tetra Pak onde está integrada a TPTP

Esta empresa produz este produto para um cliente que principalmente utilize embalagens Tetra Pak, para depois estas palhinhas serem aplicadas a essas mesmas embalagens, por norma embalagens do tipo Tetra Brik® pequenas. Estes clientes intermédios chamam-se Companhias de Mercado ou *Market Companies*.

Toda a multinacional funciona em perfeita consonância, pelo que as filosofias e metodologias utilizadas são de uma forma geral as mesmas.

#### 2.1.4 - Valores, Visão e Missão

Os assuntos deste tópico vão ser apresentados tal como são referidos no seu sítio na internet, com a linguagem na primeira pessoa do plural.

##### -Valores

Os nossos valores são os alicerces sobre os quais cada colaborador da empresa desempenha as suas tarefas e orienta a sua conduta. Os nossos valores são parte do espírito da Tetra Pak desde o seu início. Constituem um conjunto partilhado de princípios que dão consistência à nossa actuação e que unificam a nossa conduta, independentemente da disparidade de pessoas, culturas e organização que nos compõem em todo o mundo. Os valores da Tetra Pak formam a essência da cultura da nossa empresa. Servem para nos mantermos unidos, como uma equipa, e reafirmam o significado da Tetra Pak em todo o mundo. Os nossos valores assentam na nossa

herança e são fonte de inspiração para o futuro. Cabe a cada um de nós ser um modelo de aplicação dos nossos valores diariamente em tudo aquilo que fazemos [3].

Os nossos valores consistem em quatro pares:

-Foco no Cliente & Perspectivas de Longo Prazo;

-Qualidade & Inovação;

-Liberdade & Responsabilidade;

-Parceria & Divertimento;

### **- Foco no Cliente & Perspectivas de Longo Prazo**

Adicionamos valor e inspiramos os nossos clientes que nos procuram livremente. Ousamos liderar numa perspectiva de longo-prazo e aproveitamos as oportunidades para aprender e crescer [3].

### **- Qualidade & Inovação**

Somos intransigentes com a qualidade e implacáveis na procura das melhores e mais adequadas soluções que constituam marcos de inovação [3].

### **- Liberdade & Responsabilidade**

Somos livres para agir e decidir, na salvaguarda dos interesses da empresa e dos nossos clientes. Actuamos de forma responsável e consciente do impacto dos nossos actos e decisões, numa lógica de contributo para as comunidades onde estamos inseridos [3].

### **- Parcerias & Diversão**

Respeitamo-nos e confiamos uns nos outros, e em todas as partes interessadas, na procura de resultados excepcionais. Prezamos o trabalho em equipa e celebramos os nossos desempenhos [3].

## **-Visão**

Estamos empenhados em disponibilizar alimentos seguros em toda a parte.

A Nossa Visão, “Estamos empenhados em disponibilizar alimentos seguros em toda a parte”, é a inspiração que impulsiona a nossa organização, molda o nosso papel e o propósito do nosso trabalho no mundo. Internamente, proporciona-nos uma ambição unificada e partilhada [4].

## **-Missão**

Trabalhamos e cooperamos com os nossos clientes no sentido de obter as melhores soluções para o tratamento e enchimento de alimentos.

Apostamos na inovação, na compreensão das necessidades dos consumidores e no relacionamento com os nossos fornecedores, para disponibilizar essas soluções onde quer que se consumam alimentos.

Acreditamos numa liderança industrial responsável, geradora de crescimento com rentabilidade e em harmonia com a sustentabilidade ambiental e a boa cidadania corporativa [4].

### **2.1.5 - Certificações**

A Tetra Pak, e em específico a Tubex Portugal, investe muito na qualidade e segurança dos seus produtos e na qualidade e sustentabilidade do seu processo, pelo que é crucial ter certificações que possam fazer com que a empresa melhore de dia para dia e que seja mais competitiva, bem como passar ao exterior que o produto é de qualidade e que é uma empresa séria e confiável. Então, a Tetra Pak Tubex Portugal tem:

- Certificação **ISO 9001:2008** – Sistema de Gestão da Qualidade.

- Certificação **ISO 14001:2004** – Sistema de Gestão Ambiental.

- Certificação **BRC IoP** – *Food Packaging and Packaging Materials* – Norma de Segurança Alimentar.

Para além das certificações, a Tetra Pak Tubex Portugal já recebeu vários prémios, de prestígio mundial, na área da sua metodologia MPT:

- Prémio **JIPM - TPM Excellence 2012** – produto de bons resultados na aplicação da MPT.

- Prémio **Factory of the Year 2014** – a TPTP foi eleita a fábrica do ano 2014 no âmbito do *Excellence Awards Programme*. O programa da Tetra Pak reconhece anualmente seis categorias de excelência na actividade global da empresa a nível mundial, nomeadamente a fábrica que mais se destacou entre as 61 unidades do grupo em todo o mundo [5]. Na atribuição deste prémio, o júri do *Excellence Awards Programme* distinguiu os 1000 dias sem acidentes da Tetra Pak Tubex Portugal, o índice de eficácia dos equipamentos superior a 90%, os baixos níveis de resíduos, um reduzido número de reclamações e a implementação e evolução do programa de melhoria contínua [5]. Foi considerada também um *benchmark* para as outras fábricas [5]. O autor teve a honra e o prazer de estar presente e fazer parte deste reconhecimento, pelo que recebeu um certificado de que ajudou a empresa a alcançar este feito tal como os outros colaboradores. O certificado é apresentado em anexo – Anexo 1.

## 2.2 - Produto

As palhinhas de qualidade adicionam valor à sua embalagem e aos seus produtos. É por isso que a Tetra Pak Tubex Portugal desenvolve, produz e comercializa as suas próprias palhinhas para bebidas [6].

De entre os tipos de palhinhas existentes na Tetra Pak, a Tetra Pak Tubex Portugal produz as seguintes:

### - Palhinhas direitas – S's

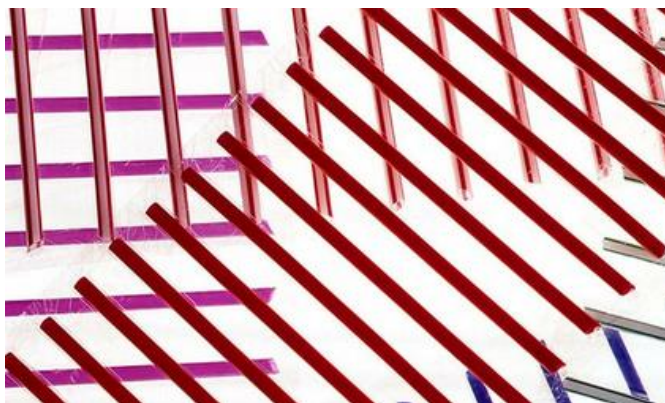


Figura 6: Palhinhas Direitas (S's) [6]

### - Palhinhas em forma de U – U's



Figura 7: Palhinhas em forma de U (U's) [6]

### - Palhinhas Sensory – SU's



Figura 8: Palhinhas Sensory (SU's) [6]

Podem-se encomendar todas as palhinhas em diferentes comprimentos, diâmetros e cores. Também pode encomendar-se palhinhas com traçado de riscas direitas e espirais. A escolha da palhinha depende da viscosidade do produto e do formato e volume da embalagem.

A diferença entre a palhinha Sensory e uma palhinha tradicional em U está no facto da Sensory ter um topo espalmado com quatro pequenos orifícios que substituem a abertura única. Isto permite que o líquido ao entrar na boca seja projectado, em

simultâneo, para quatro direcções diferentes. Esta é uma experiência de consumo verdadeiramente diferente [6].

### **2.3 - Metodologia**

A empresa, como vai ser definido no capítulo seguinte (3.3.2), tem nas suas filosofias e metodologias de trabalho a MPT ou TPM, que no universo Tetra Pak tem o nome de WCM – *World Class Manufacturing*. É uma metodologia de gestão de melhoria contínua que engloba todas as áreas da empresa, resumidamente.

Esta metodologia de trabalho está inserida em toda a Tetra Pak, mas obviamente a sua evolução é diferente de fábrica para fábrica. É um processo que demora tempo a desenvolver e tem vários passos, por isso não é possível as fábricas da Tetra Pak evoluírem ao mesmo ritmo, tanto que algumas são mais recentes que outras e não têm o mesmo *know-how*. Na Tetra Pak Tubex Portugal, esta metodologia está presente desde 2008 [7]. São bastante notórias as melhorias que este sistema trouxe à empresa, resultado disso é a nomeação da mesma como a fábrica do ano do universo Tetra Pak, como referido nas certificações.



### **3 - Estado da Arte**

Aliada à vertente prática da melhoria da qualidade, em que se implementam metodologias e ferramentas em busca dos melhores e mais práticos resultados possíveis em termos de performance do processo e produto, está a vertente teórica. Esta última é bastante crucial para o sucesso ou insucesso da melhoria e não só, portanto é essencial escolher a ferramenta ou metodologia mais adequada para dar resultados consistentes na prática.

Neste capítulo faz-se uma breve abordagem a algumas das mais utilizadas metodologias de gestão e ferramentas de qualidade existentes no ramo, passando pelas suas definições, e comparações entre si. Explica-se também o porquê da escolha de algumas dessas ferramentas para o presente trabalho.

Primeiramente começa-se pela definição de qualidade, melhoria da qualidade, depois apresentam-se as metodologias, e, posteriormente, dá-se então atenção às ferramentas da qualidade.

#### **3.1 - Qualidade**

Das muitas definições da palavra “qualidade”, existem duas que são críticas para a gestão da qualidade em si.

Um desses significados é que a “qualidade” refere-se a características dos produtos que vão ao encontro das necessidades do cliente e que por sua vez gera a satisfação do mesmo. Neste sentido, a qualidade está orientada para o ganho, quer de lucros quer de reputação. O propósito de uma alta qualidade é gerar a tal satisfação do cliente esperando o aumento dos ganhos. Apesar disto, apresentar melhores características do produto requer um investimento e conseqüentemente, normalmente, envolve um aumento nos custos [8].

O segundo significado da palavra “qualidade” é que a mesma se refere a um produto/processo livre de defeitos, desperdícios, retrabalhos, falhas, insatisfação do cliente, reclamações, entre outros. É construir um produto com uma característica tal que está livre das condicionantes descritas na frase anterior. Neste sentido a qualidade está orientada para os custos. [8].

Muitas vezes os dois significados referidos entram em conflito, devido a um dizer que a qualidade tem maiores custos e outro o contrário. Este dilema vai depender de muitos factores, mas, como a competitividade é cada vez maior, as empresas não podem dispensar a qualidade, porque para além de custar mais ou menos a nível monetário, se estas não melhorarem as características dos produtos vão perder clientes e por sua vez dinheiro e reputação. É importante haver a consciencialização de querer construir um produto de qualidade, não só para agradar as necessidades do cliente mas também para haver o sentimento de dever cumprido na empresa.

É de notar que a qualidade tem um sentido muito mais complexo do que o definido anteriormente, pelo que conduz a muitas outras definições, e é possível que haja uma definição de qualidade por cada profissional do ramo. Apesar disto as definições não fogem muito umas das outras, pelo que se complementam [9]. Com isto, perante os grandes gurus da qualidade, a qualidade tem o seguinte significado:

**Tabela 1: Definições de Qualidade – adaptado [9]**

Autor	Definição de Qualidade
Taguchi	A perda que um produto causa à sociedade depois de ser expedido e não as perdas causadas por funções intrínsecas.
Juran	Adaptação ao uso.
Crosby	Conformidade com os requisitos.
Ishikawa	Ausência de variação nas características do produto.
Deming	O processo que conduz a resultados através de produtos/serviços que possam ser vendidos a consumidores que ficarão satisfeitos.
Shigeo Shingo	Processo de monitorização contínua e instrumentação de feedback potencial.

## 3.2 - Melhoria da Qualidade

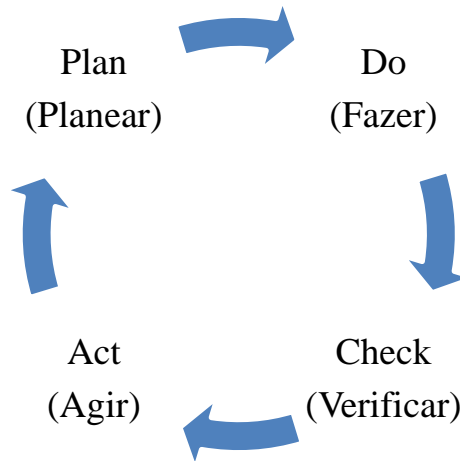
Com a explicação do que se entende por qualidade, surge a grande importância, principalmente para este trabalho, de definir o que é a melhoria do mesmo conceito.

Entende-se por “melhoria da qualidade” a busca por uma mudança organizada que traz benefícios ao processo ou produto, ou seja, levar o produto a um nível de performance nunca antes alcançado. É definida como um avanço ao estado do referido produto ou processo [8].

Como definido no capítulo 3.1, a qualidade tem dois significados. Apesar disto, uma melhoria da qualidade é aplicável para essas duas vertentes da mesma. Relativamente à qualidade voltada para a satisfação do cliente e portanto para os ganhos, uma filosofia de melhoria da qualidade pode estimular a criação de novos projectos que criem novas características no produto; que reduzam o tempo de produção; e que melhorem os serviços para com o comprador, tudo isto para atraírem novos clientes e assim aumentar os ganhos. Em termos da qualidade voltada para a redução das deficiências do produto e processo, para evitar o desperdício crónico e assim reduzir custos, a filosofia de melhoria da qualidade pode aumentar o rendimento da fábrica, reduzir erros nos vários departamentos, reduzir defeitos e problemas no produto e na fábrica em geral, entre outros. É de salientar que a qualidade voltada para os ganhos (satisfação do cliente), requer o desenvolvimento de um processo estruturado com o devido planeamento e objectivos em mente, para obter resultados consistentes. Enquanto que a qualidade voltada para os custos (eliminação das deficiências) já tem objectivos em mente, é a eliminação de tal constrangimento/ problema/ desperdício [8].

De um ponto de vista geral, a melhoria da qualidade necessita de ser contínua devido à elevada competitividade do mercado, pelo que surge o termo “melhoria contínua”. Em consequência da competitividade de custos e de necessidades do cliente, sabe-se que a qualidade é dinâmica e a especificação de um produto vai sofrendo alterações (à medida da necessidade do cliente), o que é um desafio constante estar na vanguarda de um ramo. Com isto, os órgãos da empresa e sua gestão, assim como todos os seus colaboradores, têm de se focar na produtividade e qualidade a todos os níveis, em vez de se focarem de um modo vigoroso no retorno imediato dos investimentos [10], é um processo que requer tempo e *know-how*.

Como referido a qualidade é dinâmica e portanto a sua melhoria é contínua, por isso a sua evolução segue um ciclo. Este ciclo tem o nome de Ciclo PDCA ou Ciclo de Deming.



**Figura 9: Ciclo PDCA – adaptado [8]**

O passo “*Plan*”, refere-se a escolher as variáveis a controlar e a definir os objectivos; o passo “*Do*” cinge-se à execução do plano, ou seja coloca-lo em prática; o passo “*Check*” verifica se o objectivo foi atingido (através de indicadores) e no passo “*Act*” efectua-se a acção correctiva em caso de insucesso [8].

### **3.3 - Metodologias de gestão**

No seguimento da introdução do Estado da Arte, é agora altura de se olhar para o mercado e extrair algumas das melhores e com mais resultados metodologias de gestão com foco na qualidade de produtos e processos e na sua melhoria contínua. É feita uma breve descrição da essência de algumas dessas metodologias, bem como uma comparação entre as mesmas.

Note-se que a metodologia ISO 9001, conhecida em grande escala em Portugal e na Europa, não vai ser abordada. A razão é que uma empresa certificada com este sistema de gestão da qualidade não garante que o produto e o processo sejam de alta qualidade, apenas garante que há um sistema que dá confiança que a empresa vai ser consistente nos seus processos de gestão [10].

### 3.3.1 - Produção Magra

A produção magra pode ser considerada o elemento essencial para todas as principais abordagens de melhoria. Este tipo de gestão deriva da adoção de formas de trabalho da Toyota (Japão), ou seja, do chamado de Sistema de Produção da Toyota ou *Toyota Production System* [10].

O termo “produção magra” ou “*Lean Production*” foi apelidado a partir do livro *The machine that changed the world* de J.P. Womack e D.T. Jones de 1990 [11], como resultado de um amplo estudo sobre a indústria automóvel mundial realizado pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), ao qual se evidenciaram as vantagens do uso do sistema da Toyota. O estudo evidenciou que o sistema descrito apresentava grandes diferenças na produtividade, qualidade e desenvolvimento de produtos, ao qual explicava o sucesso que a indústria japonesa tinha na época [12].

Esta metodologia tem o objectivo constante da identificação e eliminação do desperdício através da melhoria contínua. O desperdício divide-se em sete tipos: desperdício de material por defeitos, excesso de produção, espera, transportes desnecessários, deslocações desnecessárias, aprovisionamentos e processos desnecessários [10]. A meta utópica desta metodologia é a produção só após a ordem de trabalho, requerida pelo cliente, ser feita e essa produção ser de qualidade, sem defeitos, sempre com a perfeição em mente. É um sistema integrado que pretende obter uma produção e serviços de qualidade, utilizando o mínimo de aprovisionamentos possíveis e com custos reduzidos [12].

De uma forma resumida, a produção magra tem 5 princípios básicos [13]:

1. Perceber o valor do cliente – o cliente é que sabe o que é importante;
2. Análise ao fluxo de valor – analisar que processos têm valor acrescido e eliminar ou modificar os que não o têm;
3. Fluxo – foco na organização de um fluxo contínuo;
4. Puxar – a procura do produto pelo cliente é que diz a quantidade de produto a produzir, é como se o cliente “puxasse” o produto, só é produzida a quantidade certa e mais nada - elimina aprovisionamentos;
5. Perfeição – eliminação de desperdícios e de elementos que não geram valor acrescido, é um processo de melhoria contínua, há sempre mais algo para reduzir, seja tempo, custos, espaço, erros ou esforços.

Este tipo de gestão define-se por um esquema simples que se baseia em dois pilares ou lógicas, são eles *Just-in-Time* e *Jidoka* (figura 9).

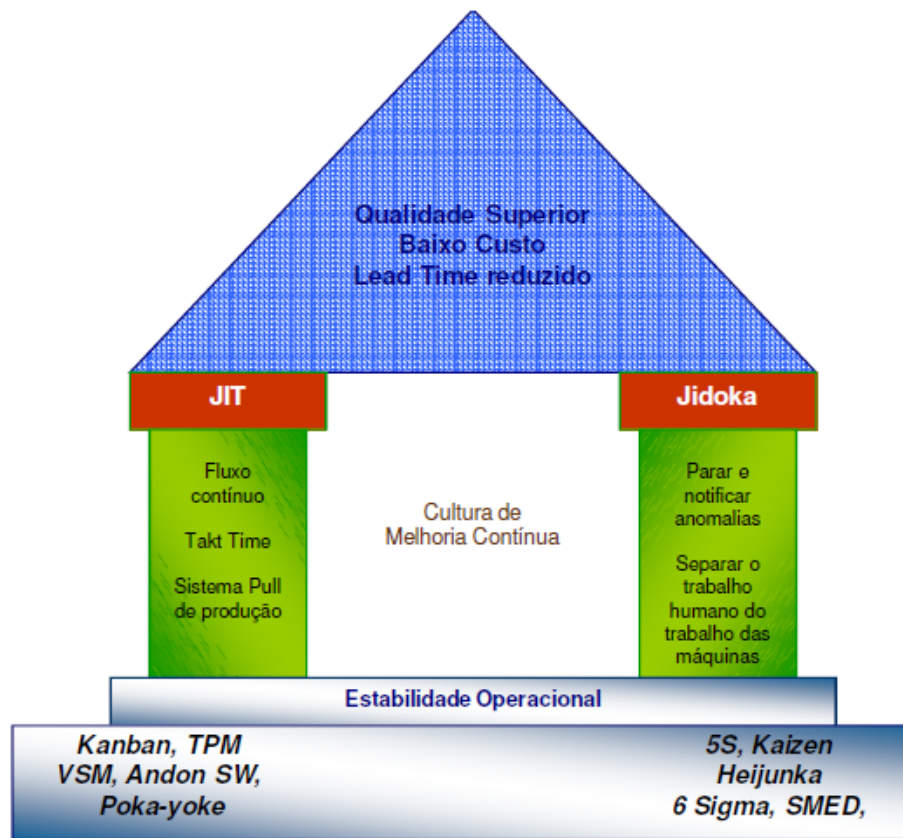


Figura 10: Esquema da Produção Magra

O pilar *Just-in-Time* (JIT) refere-se a um estado ideal da organização em que existe um sistema de fluxo contínuo em que as peças necessárias à produção (todos os bens necessários para produzir um produto) chegam à linha de montagem no tempo exacto a que são necessárias e na quantidade certa, reduzindo assim o tempo não útil ao máximo [14]. Isto leva a, em condições ideais, a um aprovisionamento nulo. É de notar que está implícita a produção com base na demanda do cliente, os chamados sistemas *Pull*.

O segundo pilar, apelidado de *Jidoka*, refere-se à automação dos processos, isto é, representa a habilidade dos mecanismos pararem imediatamente cada vez que os processos estão fora das especificações definidas/padrão [14]. Quando os mecanismos param, existe a cultura de notificar as anomalias o mais rápido quanto possível para resolver o problema e voltar a produzir. É um pilar que se foca na qualidade, na melhoria contínua (*Kaizen*), na disciplina, no querer ser melhor, na eficiência máxima.

Na base dos dois pilares estão ferramentas e métodos que conferem consistência e resultados positivos à produção magra, um deles é os 5S que mais à frente vai ser apresentado.

### **3.3.2 - Manutenção Produtiva Total (TPM)**

Manutenção Produtiva Total (MPT), é uma metodologia de melhoria da gestão, conhecida por TPM ou *Total Productive Maintenance*. Esta metodologia foi desenvolvida na década de 1970 no Japão, baseada em conceitos americanos de manutenção preventiva [15]. A MPT é uma metodologia de redução de desperdícios no âmbito de estabilizar a utilização dos recursos do processo [10].

A MPT foca-se na melhoria da disponibilidade dos mecanismos do processo e na monitorização do equipamento, no seu desempenho e qualidade de produção, com objectivo de ter uma eficiência máxima, chamada de OEE ou *Overall Equipment Efficiency* [10]. Esta eficiência (OEE) é um indicador de desempenho para averiguar o estado do processo, é entendida como uma ferramenta para a qualidade, portanto é importante monitorizar o seu progresso à medida que se melhorem as políticas de manutenção e no dia-a-dia da fábrica no decorrer da produção [16]. Com uma alta eficiência da produção, dos equipamentos e por sua vez da organização em geral, consegue-se reduzir bastante nos desperdícios e no custo do ciclo de vida dos equipamentos [17], devido a serem necessárias menos reparações, entre outros aspectos, devido à constante monitorização, não deixando assim os mecanismos chegarem à falha/avaria. Um dos benefícios da MPT é o que foi dito na frase anterior, que as despesas da manutenção estão planeadas e controladas, assim evitam-se surpresas [18].

Para obter uma MPT consistente é necessário uma boa comunicação entre os colaboradores, havendo assim uma cooperação entre operadores, mecânicos, engenheiros, administradores, toda a organização [17]. A opinião de todos conta, o trabalho em equipa é crucial nesta metodologia.

A essência da MPT é que os operadores da produção partilham os esforços da manutenção preventiva com os mecânicos, com isto, todos juntos, melhoram o equipamento e processo [18]. Muitas vezes o operador da produção é quem melhor conhece o funcionamento da sua máquina e não o mecânico, por isso esta ligação/convivência ser bastante importante para ambos chegarem mais rápido a um

consenso de causa se por exemplo uma avaria acontecer, e assim, como consequência, restabelecer o equipamento mais depressa. Note-se que o que foi dito tem de estar implícito nos operadores. Os operadores só podem realizar os referidos esforços, auxiliando o trabalho dos mecânicos, se estiverem devidamente formados e com um nível suficiente de conhecimentos de manutenção que lhes permita fazer pequenas acções de manutenção sem a supervisão do mecânico da fábrica, não basta conhecer o funcionamento máquina [19]. Normalmente a formação é dada pelo departamento de formação e treino com o auxílio do departamento de manutenção planeada.

Grande parte das ferramentas utilizadas na produção magra, vindas do sistema da Toyota, também são utilizadas nesta metodologia, devido a grandes similaridades de pensamentos. Por exemplo 5S – 5 Sentos, *Kaizen* (melhoria contínua), entre outros.

As seguintes características chave desta metodologia revelam as suas bases [15]:

1. A busca por uma eficiência organizacional global, no sentido da persistente tentativa de eliminação de todas as perdas;
2. A propriedade dos equipamentos, processos e perdas associadas pelos operadores;
3. Implementação da melhoria continua com a formação de pequenas actividades de grupo;
4. Uma abordagem em toda a organização que visa a ter um sistema com zero acidentes, zero defeitos e zero perdas.

Originalmente a metodologia TPM Japonesa consistia no foco em 5 pilares ou áreas [20]:

- Melhoria Específicas (*Focus Improvement – FI*) – envolve a realização de pequenas melhorias, de uma forma contínua, através da formação de equipas com pessoas de todos os níveis da organização;
- Manutenção Autónoma (*Autonomous Maintenance – AM*) – os operadores são quem melhor conhece a máquina, portanto fazem pequenas e simples manutenções, deixando os mecânicos assim focarem-se em tarefas mais técnicas;
- Manutenção Planeada (*Planned Maintenance*) – foco na manutenção dos mecanismos com o objectivo de estarem livres de problemas e avarias e

ajudando assim, esses mecanismos, a obter uma produção ao nível de satisfação do cliente;

- Educação e Treino (*Education and Training – ET*) – consiste, como o próprio nome indica, no treino dos colaboradores. Só com uma melhoria constante do conhecimento se consegue fazer uma melhoria contínua na fábrica.
- Controlo Inicial (*Early Management – EM*) - direcciona o conhecimento prático e a compreensão dos equipamentos de produção adquirida através da MPT, no sentido de melhorar a concepção de novos equipamentos [21].

Apesar deste foco inicial na produção e perdas associadas, a metodologia estava incompleta. Ficou claro que o processo não considerava as perdas por qualidade, a gestão, a segurança, a saúde e o ambiente e por isso não se conseguia uma melhoria contínua sustentável [15]. Por isso, mais três pilares foram incluídos [20]:

- Manutenção da Qualidade (*Quality Maintenance – QM*) – é guiada por conseguir a satisfação do cliente, seja ele externo ou interno, através da produção e entrega de um produto de alta qualidade;
- Gestão Administrativa (*The Office*) – rege-se pela melhoria da produtividade e eficiência das funções administrativas;
- Segurança, Saúde e Ambiente (*Safety, Health and Environment – SHE*) – tem o propósito de criar um local de trabalho seguro e limpo, sem que as imediações sejam danificadas com o processo ou procedimento de cada colaborador. Tem o objectivo de atingir zero acidentes de que tipos forem.

Actualmente os 8 pilares do TPM são de um modo comum aplicados nas empresas, na área da produção e não só, como engenharia, administração, desenvolvimento e distribuição. Com esta junção de todas as áreas da empresa resultantes desta metodologia, algumas organizações mudaram o acrónimo do MPT para Manufatura Produtiva Total (*Total Productive Manufacturing*) entre outros [15]. Note-se que a implementação e evolução de cada pilar obedece a uma evolução por passos, ou seja, a evolução segue um procedimento em que começa na aceitação da metodologia e que progride até à excelência da aplicação da mesma.

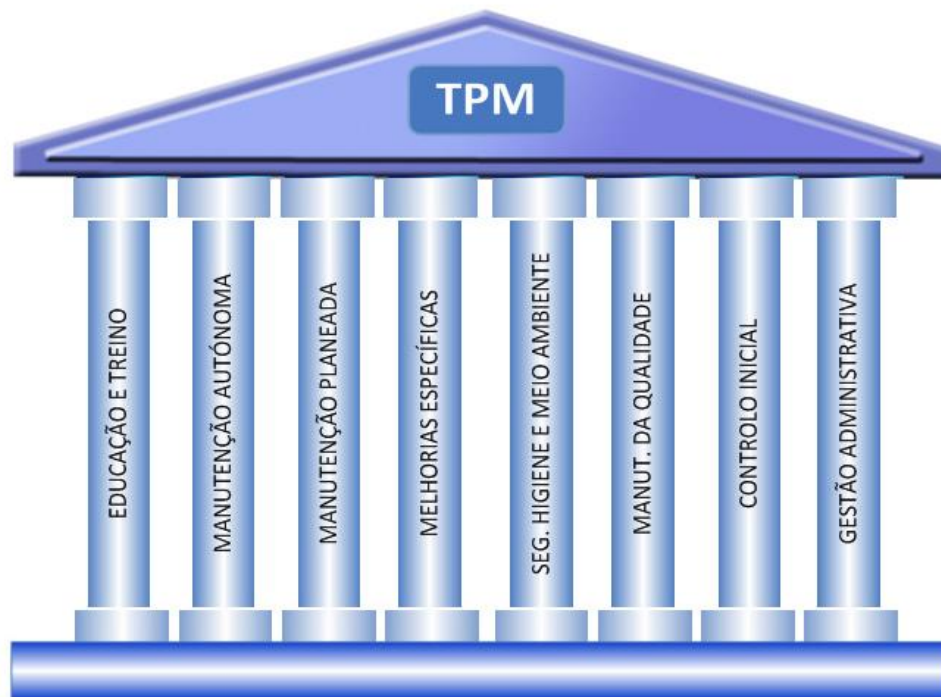


Figura 11: Pilares Base do TPM

Na Tetra Pak, é esta metodologia que é utilizada e tem o nome de *World Class Manufacturing* - WCM, que traduzida à letra significa manufactura de classe mundial. Na mesma empresa, existem para além dos pilares focados, mais 3 pilares. Estes são o pilar de Custos ou Finanças (*Costs*), o pilar de Logística, Vendas e Armazém (*Supply Chain*) e a independência do pilar de Ambiente do de Segurança, Saúde e Ambiente.

Actualmente, a autoridade máxima desta metodologia, o *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM), exige às empresas que seguem esta metodologia, a redução de acidentes e poluição ambiental em ordem a receberem o prémio de TPM Excellence. Segurança, saúde e gestão ambiental é um componente essencial para um processo efectivo [15].

### 3.3.3 - Seis Sigma

Este conceito surgiu da multinacional Motorola em meados da década de 80. Um engenheiro da mesma empresa, Bill Smith, concluiu que com a elevada complexidade de processos era bastante difícil manter os padrões de qualidade. A sua ideia então foi melhorar a qualidade do sistema com o auxílio seis sigma para obter um produto final com qualidade satisfatória [10].

*Sigma* é uma letra do alfabeto grego que se usa para denotar desvios padrão, para medir estatisticamente a variação, medir o que foge ao esperado. Uma variação do padrão é considerada como a comparação entre os resultados esperados e os defeitos/falhas. Com esta medição da variação consegue-se obter taxas de defeitos, consegue-se quantificar as exceções à produção de qualidade [22]. Por consequência consegue-se decrescer a variação dos processos, através da melhoria do que está menos bom, com menos qualidade [10].

Com esta metodologia consegue-se chegar, através de um processo centrado, a um grande nível de qualidade, na ordem dos 0.002 defeitos por milhão de oportunidades, havendo assim uma percentagem de 99.999998% de produtos conformes [23]. O propósito na avaliação de defeitos, neste conceito, não é eliminá-los inteiramente, porque a variação está sempre presente, mas sim haver o esforço para melhorar a qualidade ao nível mais alto que é possível atingir [22].

**Tabela 2: Sigma vs Defeitos – adaptado [23]**

Sigma	Defeitos por milhão	Rendimento (%)
<b>6.0</b>	<b>0.002</b>	<b>99.9999998</b>
5.0	0.57	99.999943
4.0	63.4	99.99366
3.0	2700	99.73002
2.0	45500	95.44998
1.0	317311	68.26894

De uma forma mais aplicada, a metodologia seis sigma é entendida como uma gestão do processo que permite às empresas melhorarem drasticamente o seu ponto de partida através da projecção e monitorização, no dia-a-dia, das actividades de produção, na consequência de minimizar o desperdício e os recursos enquanto se consegue um aumento da satisfação do cliente [23]. É um programa de melhoria da qualidade através da redução da variação com foco na melhoria contínua e satisfação do cliente.

A essência deste método de gestão é a integração de quatro elementos, são eles o cliente, o processo, a mão-de-obra e a estratégia, para obter uma gestão inovadora. Este paradigma fornece uma base científica e estatística para a avaliação da qualidade nos

processos através da medição do nível da mesma e averiguar assim se os processos são bons, através da comparação [24].

Uma organização com este modelo de gestão prima pela eficiente utilização e cultura da mão-de-obra. A corporação adopta um sistema de reconhecimento, em que premeia os seus colaboradores, por um sistema de cinturões (*belts*) que estão divididos por níveis de mestria. Estão classificados por *green belt*, *black belt*, *master black belt* e *champion* [24]. Uma pessoa na empresa que obtém um certo nível de treino é premiada com um cinturão. Normalmente o *black belt* é o líder da equipa de projecto e outros *green belts* trabalham em conjunto na mesma equipa, são subordinados.

Por fim, este modelo é apoiado num modelo de melhoria e de resolução de problemas, modelo de nome DMAIC [10]. DMAIC é a sigla para os 5 pontos-chave ou cinco fases para obter uma melhoria/resolução consistente [13]:

1. *Define* – Definir que processo ou produto é necessário melhorar;
2. *Measure* – Identificar os factores chave que mais influenciam o processo e decidir como medi-los;
3. *Analyse* – Analisar os factores que necessitam de melhorias;
4. *Improve* – Projectar e implementar a solução que melhor se adequa. Deve ser feita em concordância com a análise de custos.
5. *Control* – Verificar se a implementação da melhoria foi um sucesso e garantir que a melhoria se mantem ao longo do tempo.

### **3.3.4 - Gestão da Qualidade Total (TQM)**

Esta metodologia de gestão tem sido extensivamente identificada desde meados da década de 1980 [17]. Foca-se na combinação de valores, técnicas, teorias e estratégias de qualidade de modo a alcançar a excelência na qualidade, com uma quantidade reduzida de recursos [25]. A função qualidade evoluiu desde a simples inspecção para controlo da qualidade e mais tarde para qualidade assegurada [13].

Este sistema é uma abordagem a uma gestão que centra a empresa na qualidade, com a participação de todos os seus colaboradores e apontando para o sucesso a longo prazo através da satisfação do cliente (excelência na qualidade), trazendo benefícios para todos os colaboradores e para a sociedade. A TQM procura a melhoria constante da qualidade não só dos processos, produtos e serviços, mas também dos seus

colaboradores [17]. Através de um esforço de todos para a melhoria da qualidade, faz com que esta seja eficiente e efectiva, e isso, a longo prazo, gera produtividade. Portanto mais qualidade mais produtividade.

Existem três pontos-chave que fazem a ligação entre a qualidade e produtividade [26]:

1. A redução de processos e produtos defeituosos, e utilizando os recursos devidamente, leva a uma melhoria da produtividade;
2. Qualquer melhoria na qualidade traz produtividade, e vice-versa;
3. Um trabalho motivado leva a manutenção dos níveis de qualidade e por sua vez maximiza o output.

De um modo geral, a TQM, tal como outras metodologias apresentadas, é centrada no cliente e no processo e só assim se consegue um produto de qualidade. Muitas empresas que falham nesta metodologia não estão focadas devidamente no cliente, focam-se demais no estudo do processo ou no treino dos seus colaboradores nas ferramentas da qualidade, que não obtendo o consenso com o cliente poucas vezes vão utilizar as mesmas ferramentas [27].

A TQM é um método que engloba toda a empresa e demora tempo a implementar, a fomentar a sua cultura e resultados. Não é nem pode ser uma metodologia que se restringe ao departamento de qualidade [27]. Também é um método que requer um apoio de uma entidade especialista, devido a ser extensivo e por vezes complexo, o que pode pôr em perigo a implementação [10].

Num âmbito mais aprofundado, como este conceito se baseia no controlo do processo e na satisfação do cliente, também é necessário o *know-how* e a cultura da constante melhoria, do controlo estatístico, do controlo do aprovisionamento e claro da engenharia da qualidade. Com isto sabe-se que a TQM provem do ramo académico e tem a contribuição, para as suas bases, de Deming, Juran e Feigenbaum, gurus da qualidade [10] e, tal como as outras metodologias referidas, tende a ter muitos conceitos do sistema da Toyota. Tem na sua génese a filosofia e os princípios que representam uma organização de melhoria contínua, portanto é uma [14].

### 3.3.5 - Comparação das metodologias apresentadas

Em suma das metodologias apresentadas, vai-se fazer uma breve comparação das mesmas para uma melhor percepção das suas características.

As abordagens discutidas têm princípios, ferramentas e métodos comuns a todas. Estas diferem apenas na área de como o processo de melhoria deve ser tratado [10].

A TQM é claramente uma metodologia adequada onde a qualidade dos produtos ou serviços é a maior preocupação [10].

Embora o TPM seja historicamente focado na manutenção dos equipamentos, uma implementação efectiva do mesmo oferece uma melhoria contínua que faz aumentar, no geral, a produtividade da fábrica. Este método fornece à empresa as ferramentas necessárias para explorar, aumentar, documentar e multiplicar a aprendizagem [10]. Sabe-se que iniciativas como esta metodologia (TPM), que se baseia na manutenção dos equipamentos, têm-se tornado mais comuns quando se procura uma melhoria contínua. Em vez de ser vista como uma despesa, a manutenção é agora considerada uma ferramenta estratégica para a competitividade [28].

De seguida é apresentada uma tabela para conciliar os conceitos e conseguir extrair-se facilmente conclusões, devido a alguma complexidade da informação referida neste capítulo das metodologias.

**Tabela 3: Comparação das metodologias de gestão – adaptado [10] [14] [13]**

	Produção Magra	Manutenção Produtiva Total	Seis Sigma	Gestão da Qualidade Total
Origem	Japão	Japão	EUA	Japão
Período	1990	1970s	1980s	1980s
Surgimento	Toyota	Nippondenso	Motorola e GE	Gurus – Deming, Juran, etc.
Conceito	Melhoria contínua produto, deixando o cliente orientar o ritmo da produção através dos sistemas <i>pull</i> , com um fluxo	Aumentar a disponibilidade dos equipamentos e monitorizar as suas eficiências (OEE) para visualizar as perdas.	Saber o número de produtos e processos defeituosos na empresa e mantê-los num rendimento seis sigma.	Orientação para o cliente e fornecedores.

	contínuo de produção.			
Comprometimento	Todos os colaboradores	Todos os colaboradores	Alguns colaboradores	Todos os colaboradores e fornecedores
Tempo para a melhoria	Melhoria contínua	Melhoria contínua	Melhoria contínua	Melhoria contínua
Tempo de Implementação	Longo (anos)	Longo (anos)	Curto	Longo (anos)
Foco	Criação de valor	Desperdícios, perdas e redução de tempos mortos	Redução da variação	Redução da variação e aumento da qualidade dos processos e produtos
Valor acrescentado	Sistemas <i>Pull</i> ; tempos úteis; fluxo contínuo; mapeamento do fluxo de valor; respeito pelas pessoas.	Envolvimento das equipas na fábrica; manutenção preventiva leva a redução de tempos mortos e aumenta a capacidade dos processos; zero defeitos.	Estrutura organizacional com especialistas da melhoria ( <i>belts</i> ); orientação para o projecto; quantificação da poupança de custos.	Controlo de qualidade estatístico; envolvimento de todos os departamentos; redução da variação aumentando a qualidade.
Ferramentas	Analíticas	Analíticas e estatísticas	Analíticas e estatísticas	Analíticas e estatísticas
Crítica	Reduz a flexibilidade, cria congestionamento na cadeia de fornecimento.	Necessita de recursos e bastante treino.	Não aumenta directamente a satisfação do cliente; não envolve todos os colaboradores	Não tem resultados palpáveis; necessita de recursos.

Todas as abordagens faladas podem ser úteis se forem utilizadas correctamente. Cabe a cada organização decidir quais são as que mais se adaptam ao seu processo dependendo também do custo de implementação em termos de tempo e dinheiro [10]. Também

todas, se correctamente implementadas, levam à redução de desperdícios, aumento de lucros e, muito importante, levam à satisfação do cliente.

A empresa em que se baseia este trabalho, Tetra Pak Tubex Portugal, como mencionado anteriormente, utiliza uma metodologia de Manutenção Produtiva Total. Deve-se muito a esta empresa funcionar muito à base de um processo com um número elevado de equipamentos complexos e em que a manutenção planeada é algo crucial para o correcto funcionamento do mesmo e este originar um produto de qualidade. Deve-se também ao facto de a manutenção ter de ser auxiliada pelos operadores (manutenção autónoma), devido novamente ao grande número de aparelhos.

### **3.4 – Fundamentos da Manutenção Produtiva Total**

Com as metodologias de gestão definidas, resta apresentar a base de funcionamento da Manutenção Produtiva Total, que é, novamente, a metodologia seguida pela empresa em que se centra este trabalho. A base desta é a metodologia 5S ou 5 Sensos e a medição da eficiência dos equipamentos - OEE.

#### **3.4.1 - 5S**

Como referido em 3.4, esta metodologia é utilizada como a base da MPT, isto é, é o ponto de começo de uma organização que tem uma cultura e maturidade de melhoria baixa, e que quer introduzir a referida metodologia de gestão para incentivar essa cultura a crescer e a ser mais madura, e assim conseguir o aumento da sua qualidade, eficiência, entre outros [10]. Daí sai que este método 5S é um instrumento básico mas muito eficaz, que vai incutir os conceitos de melhoria e organização na empresa.

A metodologia 5S, tal como o MPT/TPM, surgiu no japão e baseia-se, tal como o nome indica, em 5 Sensos/valores. Estes sensos são uma forma de serviço de limpeza, isto é, os problemas de uma empresa não conseguem ser reconhecidos se o posto de trabalho, a todos os níveis da companhia, não estiver organizado e limpo. Limpeza e organização nos postos de trabalho ajudam o problema a aparecer, a ser mais óbvio de observar. Tornando os problemas visíveis e observáveis pelos colaboradores, surge a oportunidade para realizar uma melhoria. Se esta metodologia não for aplicada de uma forma séria leva a atrasos, defeitos, clientes insatisfeitos, perdas monetárias e desmotivação dos colaboradores [20].

Esta técnica deve incluir toda a organização para haver um envolvimento completo e uma implementação sistemática a todos os níveis da mesma, e também, muito importante, para estabelecer um processo com qualidade efectiva. Os 5S dão um retorno instantâneo do investimento e são aplicáveis a uma vasta variedade de cenários, daí a ser um instrumento de grande popularidade. É uma das melhores metodologias de melhoria do processo, sendo por isso uma das técnicas mais utilizadas nos sectores de manufactura [29].

Focando-se agora na metodologia em si, os 5 Sentos referem-se à representação das cinco bases de aplicação da mesma, são vistas como um ciclo. Estes valores apresentam-se a japonês com a devida tradução/ aplicação [30]:

1. *Seiri* ou Utilização – remover todas as ferramentas, peças e objectos desnecessários. Deixar apenas o essencial.
2. *Seiton* ou Ordenação – ordenar tudo de uma forma a que o trabalho seja eficiente em toda a fábrica;
3. *Seiso* ou Limpeza – limpar e manter limpo e arrumado todo o ambiente fabril e deixá-lo de forma a que assim o esteja para o próximo colaborador.
4. *Seiketsu* ou Padronização – Assegurar que os procedimentos e instalações promovam a permutabilidade. Situações normais e anormais são distinguidas usando regras simples e visuais.
5. *Shitsuke* ou Auto-disciplina – assegurar que a cultura destes sentos seja um modo de proceder no dia-a-dia através do comprometimento. Assegurar a aderência disciplinada aos princípios e regras da empresa.

Resumidamente, esta filosofia encoraja os colaboradores a pensar de forma diferente [29], ensina a comprometer todos na cultura da melhoria e da qualidade de serviços. Só com uma aplicação consistente deste método se consegue reduzir defeitos, sobre processamentos e desperdícios em geral [31], bem como manter um ambiente agradável em termos de aspecto da empresa e em termos de relacionamento interpessoal.

### **3.4.2 - OEE**

Para haver um processo com melhoria contínua, na metodologia TPM, é necessário medir uma eficiência dos equipamentos da fábrica, a chamada OEE ou *Overall Equipment Efficiency*. Esta última é considerada uma combinação da manutenção, da

gestão dos equipamentos e dos recursos disponíveis. O objectivo numa empresa TPM é maximizar a efectividade dos equipamentos e, esta ferramenta é utilizada para medir isso. A medição deste indicador de desempenho é uma maneira efectiva de analisar a eficiência não só do sistema fabril mas também a eficiência individual de cada máquina/equipamento [32].

A ferramenta em análise mede três dimensões de perdas [32]:

1. Disponibilidade – mede perdas por avaria e por ajustamentos e preparações;
2. Desempenho – mede perdas de performance como redução da velocidade de produção e pequenas paragens;
3. Qualidade – mede perdas por defeitos e retrabalho bem como por arranque dos equipamentos (no arranque existe sempre a criação de produto não conforme devido às características estarem a estabilizar).

As dimensões apresentadas são medidas da seguinte forma [32]:

1. Disponibilidade:

$$A = \frac{\text{tempo disponível para a produção} - \text{tempo não produtivo devido às perdas}}{\text{tempo disponível para a produção}}$$

2. Desempenho:

$$P = \frac{\text{quantidade produzida} \times \text{tempo necessário para produzir cada produto}}{\text{tempo útil (operacional)}}$$

3. Qualidade:

$$Q = \frac{\text{quantidade produzida} - \text{quantidade defeituosa}}{\text{quantidade produzida}}$$

Através das dimensões calculadas sai que a OEE resulta da seguinte forma [32]:

$$OEE (\%) = (\text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade}) \times 100$$

Contudo, o OEE não tem em conta todos os factores que fazem reduzir a capacidade do processo. Exemplos disso são: se se está diante de paragens planeadas (*bottleneck*), se há falta de material ou demanda do mercado, falta de colaboradores ou até se há dias que não se produz devido a restrições legais [32]. Devido a tudo isto, a TPTP em vez do

OEE, utiliza o TEE ou *Total Equipment Effectiveness* para tentar englobar todas as perdas de produção. A essência do TEE é a mesma do OEE mas muda na forma a que engloba todas as perdas e, naturalmente, na forma como se calcula. O TEE é a simples divisão entre o tempo útil e o tempo disponível para produzir (na TPTP é de 24 horas por dia). Surgiu também a necessidade de optar pelo TEE nesta empresa devido à forma de como os equipamentos contam o tempo de produção, esse tempo é calculado com base no número de palhinhas produzidas e com o auxílio dos operadores que registam tudo o que está não conforme e devidos intervalos de tempo. No capítulo 5.1.2 esta eficiência será melhor definida em termos práticos.

De uma forma geral o OEE é uma ferramenta básica mas fundamental para medir a performance de um sistema. Quanto maior for o desdobramento/classificação das perdas mais se consegue compreender o equipamento e o seu comportamento, daí ser necessário uma recolha consistente e precisa dos resultados das medições. Note-se que os factores que levam ao resultado do OEE variam de empresa para empresa, daí a ser necessário ajustar a medição ao sector [32]. Na TPTP, como referido, é utilizado esse ajuste, chamado de TEE, devido a condicionantes do processo.

Para concluir, o OEE é bastante útil não só como um factor de análise interno da empresa mas também como *benchmark*, havendo assim a possibilidade de comparar a performance das empresas e produtos [29].

### **3.5 - Ferramentas da Qualidade**

Inerente à metodologia base, vem também a necessidade de utilizar ferramentas para auxiliar a obtenção de uma boa melhoria da qualidade, uma melhoria consistente.

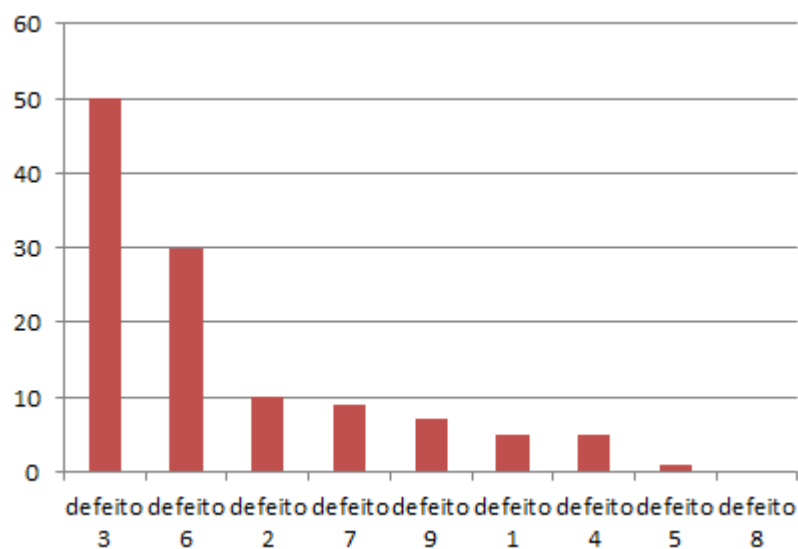
As ferramentas de seguida apresentadas são algumas das utilizadas no presente trabalho na parte prática.

#### **3.5.1 – Diagramas de Pareto**

A designação dada a este diagrama deriva do nome de Vilfredo Pareto (1848-1922) cuja actividade de investigação se centrava principalmente no estudo da distribuição da riqueza. Em 1887, o mesmo apresentou uma teoria que mostrava as desigualdades na distribuição do rendimento (riqueza). Mostrava que o rendimento, na sua maioria, era

retido por um grupo restrito de pessoas. Pela análise da distribuição do rendimento total entre a população de um país descobriu-se que uma pequena percentagem da população (20%) recebia grande parte do rendimento (80%), é a chamada regra dos 80/20 [9]. Desde essa premissa este tipo de diagrama tem vindo a ser utilizado a uma grande escala, nomeadamente na área da qualidade. Desde esse princípio também sabe-se que as causas principais de um problema (causas críticas – que são poucas) contribuem 80% para o problema em si e que causas casuais (que costumam ser muitas) contribuem cerca de 20% [33].

Este tipo de diagramas são utilizados para identificar o problema considerado mais importante a ser resolvido primeiro que os outros problemas não tão importantes [33]. Estes diagramas são um tipo de gráfico de colunas que ordena as ocorrências da maior para a menor, da esquerda para a direita, o que permite, novamente, detectar as causas mais importantes de variação e priorizar acções de resolução de problemas.



**Gráfico 1: Exemplo de um diagrama de Pareto**

Este tipo de gráfico é uma das ferramentas mais importantes para a melhoria da qualidade de um processo. É uma visão geral dos problemas do processo, desde a mais frequente até à menos crítica [33].

De uma perspectiva de fábrica, a essência da análise de um gráfico de Pareto é registar o número de cada tipo de desperdício encontrado (não conformidade) e depois fazer um gráfico que dê ênfase aos desperdícios mais frequentes/importantes [34].

### 3.5.2 - Folha de Verificação

As folhas de verificação (ou *check list's*) são utilizadas para o registo dos requisitos e prioridades ou também para verificar se há a ocorrência de defeitos ou desvios do padrão num equipamento ou processo. As folhas de verificação são apropriadas em situações onde a frequência de uma ocorrência é um factor importante [9].

Estas folhas, tal como os diagramas de Pareto, conseguem ser analisadas por si só, por serem de simples interpretação ou interpretação directa. Por exemplo, existe uma *check list* que contém os padrões de uma máquina, e é trabalho do operador verificar os padrões dessa mesma máquina no local, com essa lista é possível assinalar o que está em bom estado ou o que fugiu do padrão. Com isto, é directo o que vai ser necessário ser repostado no padrão.

### 3.5.3 – Análise P-M

A *P-M Analysis* é mais do que uma metodologia de melhoria. É uma forma diferente de pensar sobre os problemas e sobre o conceito em que ocorrem. Esta é uma análise que ajuda a eliminar perdas crónicas e que se resume em 3 fases [35]:

1. Olhar para o fenómeno (defeito, problema, etc.) analiticamente e sistematicamente;
2. Avaliar todas as causas;
3. Identificar todas as anormalidades e erradicar as mesmas.

Em termos de nomenclatura, “P” significa *Phenomenon* (fenómeno – desvios do estado normal para anormal) e *Physical* (físico – para entender os princípios físicos por detrás do fenómeno). O “M” significa *Mechanism* (mecanismo – perceber como o fenómeno é produzido e como funciona o equipamento que o produz) e também está relacionado com os 4 *inputs* da produção (4M's) que são examinados, para averiguar causas, na metodologia: *Machine* (máquina), *Man* (colaboradores), *Material* e *Method* (método). E “*Analysis*” significa análise de causas e dos respectivos efeitos. Em suma, pode-se dizer que é uma análise física do mecanismo ou para simplificar, uma análise P-M [35].

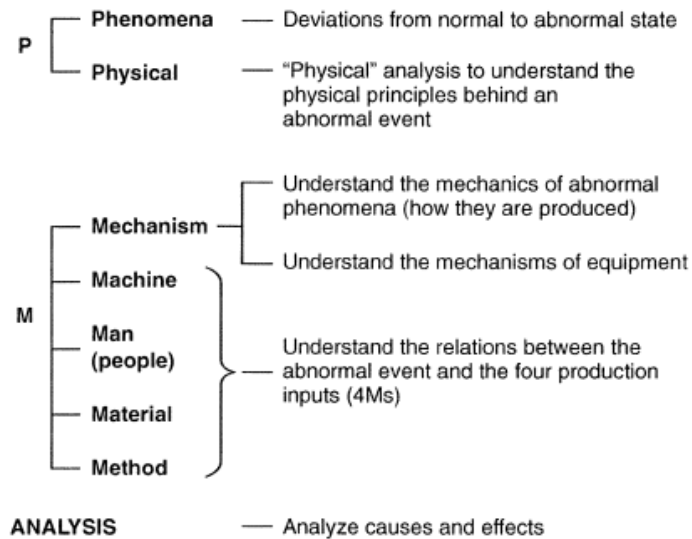


Figura 12: Significado de P-M Analysis [35]

Por definição, a *P-M Analysis*, é uma metodologia que analisa fisicamente perdas crónicas de acordo com os seus princípios e leis inerentes. Isto é, esta análise vai à raiz do problema com a ajuda da sua base teórica inerente, das fórmulas físicas e matemáticas que fazem o mecanismo funcionar, só assim se percebe realmente como funciona e o que está a causar a tal anormalidade. Assim, esta clarifica os mecanismos da ocorrência/anormalidade e as condições que devem ser controladas para prevenir a mesma ocorrência [35].

Como referido, o princípio por detrás desta metodologia é primeiro perceber, em termos físicos, o que acontece quando o processo produz defeitos, e como isso acontece. Só depois disto é que se consegue identificar e ligar todas as causas do fenómeno e assim numa fase final eliminar esses defeitos crónicos.

Foi utilizada esta metodologia neste trabalho, e mais propriamente no estágio curricular, devido a ser uma metodologia que analisa a máquina/ mecanismo a um nível científico, utilizando as fórmulas da física. Só assim se conseguia chegar à raiz do problema, devido à complexidade e à diversidade de peças e mecanismos inerentes ao problema em si.

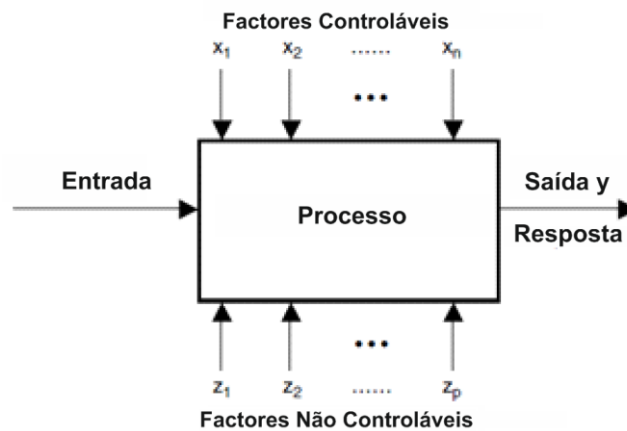
### 3.5.4 - D.O.E.

DOE, *Design Of Experiments* ou apenas Desenho de Experiências é uma ferramenta de qualidade muito poderosa e importante nos dias que decorrem. É uma ferramenta estatística genérica que guia o desenho e a análise de experiências em ordem a

estabelecer a relação causa-efeito entre a resposta (output) e os factores que originam essa resposta (inputs), num processo. Esta relação deriva de modelos empíricos, ou seja, com base na experiência. O DOE também pode guiar o experimentador a projectar uma experiência eficiente tal como a identificação e classificação de factores importantes [36]. Pode ser utilizado apenas para o desenvolvimento de um projecto de um novo produto como também para obter um processo mais robusto, quando se fala de qualidade [37].

Outra grande característica do DOE é que este possui características que conseguem otimizar um processo [37]. Um bom DOE permite estimar uma ou mais quantidades desconhecidas e que são importantes para os resultados [38]. A optimização pode ser também uma boa forma de averiguar as limitações de um equipamento, isto é, se ao optimizar-se a experiência e mesmo assim os resultados não forem os esperados, isto pode ser um indicador para fazer uma melhoria do produto ou processo [39].

Um modelo do processo a ser realizado o DOE tem a sua forma genérica na figura seguinte [36]:



**Figura 13: Modelo de um processo que se pode aplicar o DOE - adaptado [36]**

Num projecto em que se faça o DOE, são deliberadamente alterados os factores controláveis ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) e observados os seus efeitos na resposta ( $y$ ). Os dados obtidos com a experiência são depois utilizados para terem lugar em modelos empíricos relacionando o output ( $y$ ) com os mesmos factores controláveis. Como exemplo genérico tem-se [36]:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + e$$

Em que “ $e$ ” é o erro ou variação experimental. Este erro existe devido a não haver uma relação exacta entre  $y$  e  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , porque [36]:

1. Os factores não controláveis ( $z_1, z_2, \dots, z_p$ ) vão influenciar a resposta;
2. Existem sempre erros experimentais e de medição na experiência, é inevitável.

Segundo Yang [36], o DOE deve ser dividido em 7 passos, de seguida vão ser descritos esses passos, bem como as suas premissas mais importantes dentro de cada um deles. São eles [36]:

1. Definição do projecto;
2. Seleccionar a resposta (output –  $y$ );
3. Escolher os factores ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), níveis e os seus intervalos
4. Seleccionar qual o tipo de experiência;
5. Realizar a experiência;
6. Analisar os resultados;
7. Tirar conclusões e recomendações.

### **1. Definição do projecto**

É necessário identificar o objectivo do projecto e a extensão do problema. Por exemplo, identificar o que se quer realizar. Pretende-se reduzir o defeito? Qual é a performance do sistema? Etc.

### **2. Seleccionar a resposta (output - $y$ )**

Na escolha da resposta, o experimentador deve determinar se a mesma consegue fornecer informação útil sobre o problema em estudo, senão for este o caso é perda de tempo realizar o DOE. Portanto é importante saber que essa resposta vai mesmo ao encontro com os objectivos do projecto.

Normalmente a resposta é o indicador de performance do processo.

### **3. Escolher os factores ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), níveis e os seus intervalos**

É necessário identificar todos os factores importantes que podem influenciar significativamente a variável.

Os factores podem ser contínuos (por exemplo: velocidade) ou discreto/ por atributos (por exemplo: tipo de máquina).

No DOE cada factor deve ter pelo menos 2 níveis, caso contrário esse factor não iria ser uma variável mas sim um valor fixo, e isso não era aceitável para tirar conclusões.

Para factores contínuos, que é o caso que vai ser tratado no presente trabalho, os níveis correspondem a diferentes valores numéricos. Por exemplo, num factor temperatura, 200°C e 300°C.

Também é importante definir um bom intervalo entre níveis do mesmo factor. Isto é, se o intervalo for muito pequeno, os resultados podem ser inconclusivos devido à variação dos mesmos ser muito próxima e podia-se perder muita informação útil. Se por outro lado o intervalo for muito grande, pode ser complicado atingir esse valor mais extremo, devido ao mesmo não ser alcançável na máquina em questão, por limitações da mesma, por exemplo.

Depois também olhar entre a vertente de custos e tempo. Se se optar por muitos níveis, vai haver mais informação, mas vai haver mais experiências, o que vão ser necessários mais recursos em termos de custo e tempo para fazer essas experiências e para a leitura da resposta (também pode ocupar bastante tempo esta última).

É necessário também definir quantas réplicas de cada experiência se vai realizar. Também aqui existe as condições custo e tempo, e obviamente tendo mais réplicas existe mais informação e consistência mas perde-se em recursos.

Portanto é um pouco de senso comum esta escolha, é necessário conciliar todas estas premissas anteriormente referidas e expô-las com a gestão da empresa ou com os responsáveis do projecto e então, aí extrair qual é a melhor maneira para fazer a experiência, de acordo com os objectivos e recursos existentes.

#### **4. Seleccionar qual o tipo de experiência**

Este passo vai depender do número de factores, número de níveis em cada factor e no total de alterações (experiências) a fazer na máquina.

Normalmente opta-se normalmente por experiências factoriais ou factoriais fraccionadas. Se são dados o número de factores e níveis, uma experiência factorial

completa vai necessitar de mais “pequenas experiências”, vai ser menos económica, mas vai fornecer mais informação sobre o objecto de estudo, o que no fim pode sair mais barato por se perceber bem o problema e evitar surpresas futuras. As experiências fraccionadas necessitam de menos “pequenas experiências”, têm menos custos, mas seguindo a mesma lógica vai-se obter menos informação.

## **5. Realizar a experiência**

Neste passo decorre a experiência em si, mas é necessário ter em atenção alguns princípios:

- Observar o estado dos aparelhos de medição primeiro;
- Ter a certeza que os mecanismos existentes conseguem realizar todas as experiências;
- Estar atento à máquina durante a experiência para não haver mudança de condições entre outros imprevistos;
- Evitar mudanças não planeadas;
- Ter o tempo disposto para a experiência folgado para o caso de imprevistos;
- Preservar todos os dados;
- Registrar tudo o que acontece;
- Por fim repor o equipamento nas suas condições básicas de funcionamento.

## **6. Analisar os resultados**

Com a análise dos resultados, consegue-se:

- Identificar as interacções e efeitos significativos e não significativos;
- Descobrir quais os efeitos dos factores e interacções mais significativas para o problema em estudo – com o auxílio de uma Análise de Variância (ANOVA). A Análise de Variância (ANOVA) é um teste de hipóteses que foca-se em encontrar através da comparação da variância das experiências (pela divisão da variabilidade total do sistema por essas mesmas componentes da experiência [40]) quais as variáveis significativas ou seja quais as variáveis que fazem alterar o sistema. Esta averiguação das variáveis significativas é dada pela comparação da variância com um factor crítico. Se a variância for superior a um  $F_0$ -crítico, retirado da tabela de distribuição de Fisher-Snedecor, retira-se que essa é uma variável significativa, ou seja não se considera uma

hipótese nula. Se a variância for inferior ao F0-crítico, o factor ou a interacção não são significativos. Também consegue-se saber por esta análise a percentagem de influência de cada factor na resposta, bem como o erro existente. Se o erro for muito grande retira-se que existe outros factores que não foram incluídos na experiência mas que também afectam a resposta. Esta análise é apresentada em forma de tabela – tabela ANOVA.

- Obter um modelo matemático empírico de uma resposta versus os seus factores experimentais. Como visto no exemplo genérico já apresentado antes:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + e$$

- Finalmente com a análise do DOE consegue-se também identificar qual a melhor interacção de factores e níveis, bem como condições de resposta óptimas.

## **7. Tirar conclusões e recomendações**

Uma vez que a análise está completa, o experimentador pode extrair conclusões sobre o projecto. Se os resultados fornecerem informação suficiente, pode recomendar-se mudanças no projecto para melhoria da sua performance, esse é o grande objectivo. Se não houver informação suficiente, é naturalmente necessário fazer mais experiências efectuando mudanças nas condições a estudar.

Com a análise completa, deve-se também verificar se as conclusões são boas. Isto é, testar várias vezes o sistema com a melhor combinação de factores, de acordo com os resultados da experiência, e aí confirmar se as conclusões são vantajosas e se os resultados são semelhantes aos previstos.

### **- Exemplo de explicação do ponto 6 - Analisar os resultados**

Como o DOE a ser feito em 5.2.1.1 é relativo a uma experiência factorial de 3 variáveis a 2 níveis com 2 réplicas, é agora aqui descrito o modelo teórico a seguir dentro do passo 6 do DOE (análise de resultados). Este modelo mostra os cálculos que levam à tabela ANOVA, pelo que é necessário defini-los antes de utilizar na prática no capítulo 5. Então agora através de um exemplo mais simples (factorial de 2 variáveis a 2 níveis com 2 réplicas) faz-se essa análise como forma de elucidação. Neste modelo existem 4 passos antes de construir a tabela da análise de variação.

- 6.0 – Preparação

É necessário nesta fase estabelecer a matriz de análise do problema. A matriz de planeamento é uma matriz que tem linhas para o número da experiência, uma coluna para cada factor e também uma coluna para cada interacção entre esses factores. Nas linhas intersectadas com os factores, o factor correspondente recebe o sinal “+” ou “-“. Se for “+” é porque nessa experiência o nível do factor varia ao valor normal, é um extremo. Se for “-“ é porque tem o valor normal de funcionamento. No fundo esta matriz guia o experimentador ao longo do DOE, para saber o que foi mudado em cada experiência. Esta matriz pode ser utilizada como guia da realização da experiência na máquina, antes de propriamente estar inserida neste passo da análise.

As colunas das interacções são obtidas pela multiplicação das colunas dos factores envolvidos. Por exemplo, numa experiência  $2^2$ , em que existem dois factores, a matriz de planeamento factorial é a seguinte (onde a coluna AB é gerada pela multiplicação da coluna A pela B) (tabela 4):

**Tabela 4: Exemplo de matriz de planeamento - adaptado [36]**

<b>Nº Experiência</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>
1	-1	-1	$(-1)*(-1) = +1$
2	+1	-1	$(+1)*(-1) = -1$
3	-1	+1	$(-1)*(+1) = -1$
4	+1	+1	$(+1)*(+1) = +1$

Note-se que as interacções, neste caso “AB”, não são experimentáveis, só são utilizados para motivos de cálculo.

Ao lado da tabela anterior costuma estar representada a resposta de cada experiência.

- 6.1 – Cálculo dos Contrastes

O contraste de um factor ou interacção é a multiplicação dos sinais (coeficientes) de cada coluna pelo somatório de cada linha, somando tudo no final. Tem-se o exemplo:

Tabela 5: Exemplo de matriz de planejamento com resposta e somatórios - adaptado [36]

Nº Experiência	Efeitos			Resposta		Total
	A	B	AB	1	2	
1	-1	-1	+1	X11	X12	(1)= X11+X12
2	+1	-1	-1	X21	X22	(a)= X21+X22
3	-1	+1	-1	X31	X32	(b)= X31+X32
4	+1	+1	+1	X41	X42	(ab)= X41+X42

$$\text{Contraste A} = -1 * (1) + 1 * (a) - 1 * (b) + 1 * (ab)$$

O contraste é calculado para todos os factores e interacções (A, B e AB).

O contraste é a base para muitos cálculos subsequentes.

- 6.2 – Cálculo dos Efeitos

O efeito também é calculado para os factores e suas interacções.

É calculado por:

$$\text{Efeito} = \frac{\text{Contraste}}{2^{k-1} \times n} = \frac{\text{Contraste}}{N \times n / 2}$$

Em que  $N$  é o número total de experiências e  $n$  o número de réplicas.

Para realizar o efeito A é só trocar onde diz “contraste” pelo contraste de A:

$$A = \frac{\text{Contraste A}}{2^{k-1} \times n} = \frac{\text{Contraste A}}{N \times n / 2}$$

- 6.3 – Cálculo da Soma dos Quadrados

A soma dos quadrados (SS) é a base para a análise de variância. A fórmula geral é a seguinte:

$$SS = \frac{\text{Contraste}^2}{2^k \times n} = \frac{\text{Contraste}^2}{N \times n}$$

Para A:

$$SS_A = \frac{\text{Contraste}^2}{2^k \times n} = \frac{\text{Contraste}^2}{N \times n}$$

Para ter todos os componentes para preencher a tabela ANOVA, é necessário ainda saber a soma dos quadrados totais ( $SS_T$ ) e o erro da mesma ( $SS_E$ ). Para este exemplo:

$$SST = \sum_{f=1}^2 \sum_{g=1}^{k \text{ factores}} \sum_{h=1}^{n \text{ repetições}} y_{fgh}^2 - \frac{(y \dots)^2}{N * n}$$

E agora o erro, que não é mais do que subtrair que o  $SS_T$  às outras somas dos quadrados:

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{ABE}$$

- 6.4 – Construção da tabela ANOVA

Com todos os elementos definidos sai a tabela ANOVA:

**Tabela 6: Tabela ANOVA - adaptado [36]**

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	MS <sub>x</sub>	F0
<b>A</b>	SS <sub>A</sub>	a - 1	MS <sub>A</sub> = SS <sub>A</sub> /(a - 1)	F0= MS <sub>A</sub> /MS <sub>E</sub>
<b>B</b>	SS <sub>B</sub>	b - 1	MS <sub>B</sub> = SS <sub>B</sub> /(b - 1)	F0= MS <sub>B</sub> /MS <sub>E</sub>
<b>AB</b>	SS <sub>AB</sub>	(a - 1)( b - 1)	MS <sub>A</sub> = SS <sub>AB</sub> /((a - 1)( b - 1))	F0= MS <sub>AB</sub> /MS <sub>E</sub>
<b>Erro</b>	SS <sub>E</sub>	ab(n - 1)	MS <sub>E</sub> = SS <sub>E</sub> /(ab(n - 1))	
<b>Total</b>	SS <sub>T</sub>	abn - 1		

Daqui sai o que já explicado anteriormente, se cada factor e interacção são significativos para o processo, comparando o “F0” testado com o F0-crítico. Este último é retirado da tabela de distribuição Fisher-Snedecor (anexo 2).

Esta ferramenta foi utilizada neste trabalho, por ser uma poderosa ferramenta que traz resultados consistentes, que dá a possibilidade de otimizar (conseguindo assim avançar mais rápido para a origem do problema em causa) e por ser, apesar de tudo, uma ferramenta de fácil aplicação.

### **3.5.5 – O.P.L.**

Ou *One-Point Lesson*, segundo Averill [15], é um documento de treino com uma página projectado para ensinar um conceito ou uma habilidade. Tipicamente, a OPL usa diagramas ou imagens para demonstrar visualmente a lição em vez de longos e maçantes procedimentos. Depois de desenvolvida, a OPL é apresentada, revista e discutida com cada operador que realiza essa tarefa. A sua apresentação ao operador deve ser feita no local em que o conceito vai ser aplicado, para melhor compreensão [15]. Quando o operador demonstrar que percebe a tarefa, deve assinar um documento próprio para o mesmo fim, que depois é entregue à área de formação e treino.

A utilização desta ferramenta de uma forma prática no presente trabalho, deve-se ao facto de esta estar incutida nas raízes do MPT e por isso fazer parte da sua metodologia de trabalho. Outra razão é que é um instrumento que dá excelentes resultados por ser tão simples e de tão fácil aprendizagem, dando assim aos colaboradores (aos operadores principalmente) uma boa base de como proceder perante algo crítico.



## 4 – Conceitos Específicos

Ao longo deste capítulo vai ser feita uma breve descrição do processo de produção de palhinhas e vão ser definidos alguns conceitos pertinentes para o trabalho e que servem para melhor perceber o que se está a referir, que podem não ser muito claros em algumas ocasiões.

### 4.1 – Breve descrição da produção de palhinhas

De modo a ter-se uma melhor percepção do que mais à frente vai ser descrito, neste tópico vai ser explicado, resumidamente, os passos da produção de palhinhas.

Num modo inicial, é introduzido na extrusora a matéria-prima (grãos de polipropileno). Depois é feita a extrusão do polímero na extrusora e após isso é feito um corte da palha contínua, de acordo com o tamanho de palhinha pretendido. A palha é espalhada organizadamente numa caixa própria. Essa caixa é levada pelo operador para a área do *forming* (U-Machines), em que na mesma é feita as curvas na palhinha (no caso de se querer essa opção no produto) e o isolamento individual de cada palhinha num filme contínuo. Esse filme contínuo de palhinhas é depois disposto, novamente, organizado dentro de uma caixa, que depois é levado para a área final (Doctor Machines e Z-Folders). Nesta área final é feita uma análise mecanizada e automática ao filme de palhinhas, no âmbito de procurar grandes defeitos (Doctor Machines) e depois o mesmo filme entra na última máquina (Z-Folder). A Z-Folder dispõe depois as palhinhas nas caixas para expedição. As palhinhas ficam dispostas ligadas pelo filme, não individualmente. Por fim as caixas são colocadas numa palete e vão para armazém para depois serem expedidas [7].

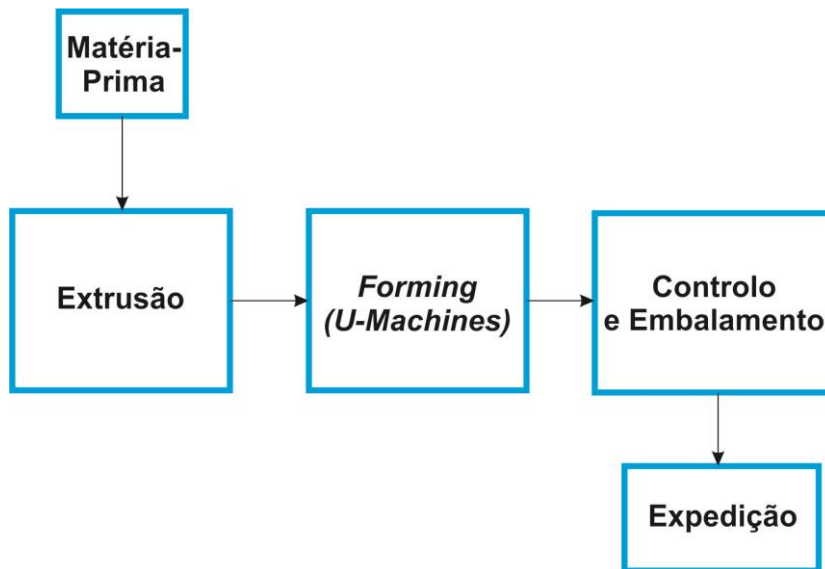


Figura 14: Esquema da produção de palhinhas

Em todas as áreas da produção existe postos de controlo do produto, em que o operador faz o controlo de qualidade do mesmo, desde a medida do peso e dimensões, com auxílio de escalas e balanças, bem como o controlo visual da cor, aparência da palhinha, etc.

As palhinhas vão para o cliente ligadas pelo filme porque só assim se consegue posteriormente, no cliente seguinte, colá-las à embalagem de bebida a alta velocidade. A produção desta fábrica tem sempre um cliente intermédio (companhias de mercado - como já referido) entre a mesma e o cliente final, ou seja, as palhinhas da Tetra Pak Tubex Portugal não se destinam a ser vendidas separadamente numa loja.

## 4.2 – Conceitos

Esta alínea contém a definição de alguns conceitos relevantes que são utilizados no capítulo 5 e que podem levantar dúvidas devido a serem um pouco específicos.

**Filme** – Um filme, nomeadamente de palhinhas, é uma camada de polipropileno que protege a palhinha e que ao mesmo tempo liga várias palhinhas umas às outras.



**Figura 15: Filme de palhinhas**

**DMS** - São reuniões curtas diárias em que estão presentes os representantes dos vários pilares do TPM e o gestor de fábrica, e que discutem o ponto da situação em relação aos pontos altos e baixos da produção, problemas, apresentam-se valores de desperdícios, eficiências, planeiam-se procedimentos e acções para problemas, etc. É uma reunião que é bastante benéfica para a melhoria contínua, no âmbito que é possível adquirir a opinião de todos os colaboradores e isso é muito importante neste tipo de metodologias e na competitividade. Estas reuniões fazem com que todos sejam ouvidos.

**Pivot Tables** – ou tabelas dinâmicas são uma funcionalidade do Excel que pegando numa tabela de valores, consegue-se apresentar uma tabela ou gráfico com filtros, isto é, apresenta-se na tabela realmente o que se quer, excluindo variáveis não importantes no momento. E isto pode ser alterado a qualquer instante. No anexo 5 é dado um exemplo de aplicação.

**Sujidade no plástico** - designa-se, na empresa TPTP, ao aparecimento de impurezas nas palhinhas, sob forma de material infundido ou partículas externas, pelo que não podem ir para o cliente nessas condições. Por isso é necessário esta informação para averiguar o estado do problema e se equipa que está a actuar na redução desse defeito está a actuar correctamente ou não.

**Pontos C e Q** - Um ponto C é alusivo a uma variável que não altera no decorrer da produção (exemplo: aperto de um sistema). Um ponto Q é uma variável que pode alterar durante a produção (exemplo: velocidade da extrusora). Este último requer mais atenção durante o processo porque é o que tem mais probabilidade de variar [7]. Estes pontos

depois são numerados e aplicados em forma de etiqueta nos equipamentos para permitir a sua distinção em cada processo e para serem fáceis de analisar as zonas críticas.

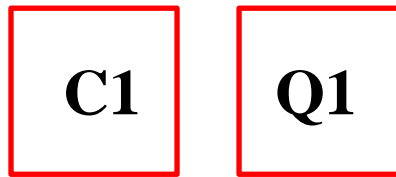


Figura 16: Exemplo de etiquetas dos pontos C e Q

**Empalme** - acto de colar dois ou mais pedaços de filme por meio de calor, com o auxílio de uma tela de empalme.

**Vórtice** - neste contexto é uma forma do espalhamento que acontece quando as palhinhas são espalhadas e não são esticadas, o que cria uns enrolamentos. A equipa *Bent Straw* deu esse nome ao fenómeno pela aparência com a forma de um vórtice. É possível visualizar uma representação mais elucidativa do mesmo na figura abaixo apresentada.



Figura 17: Representação de um Vórtice

## 5 - Melhoria da Qualidade do Produto

Neste capítulo vai ser feita uma descrição minuciosa do que foi feito ao longo do estágio e de que modo isso afecta/afectou e melhorou não só o produto em si mas também o seu processo de fabrico, que é igualmente importante para a qualidade do mesmo, está inerente.

Note-se que há actividades, que vão ser descritas, que não afectam o produto directamente, por serem actividades base ao nível da gestão, recursos humanos, etc. Sabe-se, pela metodologia do TPM que todas as decisões vão ter de uma forma ou de outra impacto no produto [15]. Isto porque a gestão e recursos humanos são um pilar da metodologia, que conta igualmente e até por vezes mais do que pilares mais directamente ligados com a produção e qualidade em si. Aquando da descrição destas actividades, vai ser dada essa atenção ao descrito neste parágrafo, mas como forma de nota é importante deixar esta indicação.

A organização deste capítulo vai conter as actividades de melhoria do produto divididas em dois subtemas (figura 17). Vai focar as actividades em que houve um maior envolvimento e que estão mais relacionadas com a melhoria do processo e do produto em si.



Figura 18: Actividades de melhoria da qualidade do produto realizadas na empresa

## 5.1 – Fortificação da monitorização do processo na área da extrusão

Como foi referido previamente, este capítulo foca-se nas actividades de melhoria do produto. Neste subtema são apresentadas as actividades realizadas com o objectivo de fortificar/ melhorar a análise da informação da área da extrusão devido a ser a área menos evoluída da fábrica.

### 5.1.1 - Apresentação de dados - Actualização e análise do desperdício do processo de extrusão

Como função inicial, após alguma formação teórica recebida na empresa, como introdução aos vários pilares e de perceber como o processo de produção funciona na teoria e na prática, a primeira função exercida, ou seja, a primeira grande responsabilidade, foi a actualização da folha de registo do desperdício (de material e de tempo) feito na área inicial da produção – a extrusão.



**Figura 19: Qualidade da cor não é boa, são observáveis dois tons de verde, o que não é aceitável.**

Na TPTP o desperdício de material é pesado e depois o valor dessa medição é assinalado pelo operador da área da extrusão numa folha (anexo 3), em que este assinala, por tipo, a quantidade de desperdício [Kg] gerado por turno, diariamente. O operador também indica os tempos não produtivos, em que houve paragens, falta de ordens, etc. Esta folha depois é recolhida por um colaborador (na altura o autor) e é feita a actualização dos dados num ficheiro em Excel, actualização feita pelo mesmo colaborador. A folha do desperdício material (anexo 3), preenchida pelo operador, é posteriormente arquivada num dossier próprio, para haver rastreabilidade.

Straw Type	Nº da Extrusora	Nº Wrapper	Produto	Mês	Dia	Turno (N;M;T)	Equipa	TEE	Impulsos	Total de perdas / tempo	1000 - Paragens para Refeição	1200 - Set Up	1300 - Arranque após Set Up	1700 - Restrições Legais	2100 - Avarias	2301 - Falta de matérias primas
S	238	W339	100x4	Dezembro	19-12-2014	M	B	73,68%	560000	0						
U	236	W341	165x4	Dezembro	19-12-2014	M	B	0,00%	0	480						
SU	234	W342	165x5	Dezembro	19-12-2014	M	B	76,61%	36390	100		5	5			
U	240	W345	165x4	Dezembro	19-12-2014	M	B	0,00%	0	480						
U	230	W343	160x4	Dezembro	19-12-2014	M	B	103,58%	49200	0						
U	226	W716	145x4	Dezembro	19-12-2014	M	B	0,00%	0	480						
U	244	W717	180x5	Dezembro	19-12-2014	M	B	76,59%	36380	100		5	5			
U	246	W346	165x4	Dezembro	19-12-2014	M	B	80,04%	38020	90						
U	242	W340	165x4	Dezembro	19-12-2014	M	B	41,47%	19700	280		5	5		30	
S	232	W344	120x4	Dezembro	19-12-2014	M	B	0,00%	0	480						
S	238	W339	100x4	Dezembro	19-12-2014	T	C	73,68%	560000	135						
U	236	W341	165x4	Dezembro	19-12-2014	T	C	0,00%	0	480						
SU	234	W342	165x5	Dezembro	19-12-2014	T	C	0,00%	0	480						

Figura 20: Parte do ficheiro em Excel em que se actualiza o desperdício gerado [minutos].

Straw Type	Nº da Extrusora	Nº Wrapper	Produto	Mês	Dia	Turno (N;M;T)	Equipa	Mudança Cor	Mudança Tamanho	Mudança Diâmetro	Arranque Planeado	Avarias	Qualidade 1-Côr	Qualidade 2-Peso	Qualidade 3-Comprimento	Qualidade 4-Diâmetro
S	238	W339	100x4	Dezembro	19-12-2014	N	A									
U	236	W341	165x4	Dezembro	19-12-2014	N	A									
SU	234	W342	165x5	Dezembro	19-12-2014	N	A	5,7			3,5					11
U	240	W345	165x4	Dezembro	19-12-2014	N	A									
U	230	W343	160x4	Dezembro	19-12-2014	N	A									
U	226	W716	145x4	Dezembro	19-12-2014	N	A				4					
U	244	W717	180x5	Dezembro	19-12-2014	N	A									

Figura 21: Parte do ficheiro em Excel em que se actualiza o desperdício gerado [Kg].

Na figura 19 e 20 é possível observar um excerto da folha de actualização dos dados em Excel. Note-se que para haver uma rastreabilidade máxima, o desperdício está ligado ao mês, dia, turno, operador, tipo e tamanho das palhinhas (produto) e ao número da extrusora. Para além disto também se indica os impulsos que a extrusora trabalhou e isto é possível porque as extrusoras têm contadores de impulsos (figura 21), em que cada impulso equivale a 16 palhinhas.



**Figura 22: Contador Tipo**

Esta informação, depois de inserida no ficheiro Excel, é analisada pessoalmente. Numa fase inicial houve apenas um enfoque nos valores do desperdício em Kg associados a defeitos ou acontecimentos inesperados (avarias, etc.).

Toda esta informação é extremamente importante, não só para depois medir os indicadores de desempenho, mas também para controlo de qualidade e para posteriormente haver acções de melhoria para tentar que tais desperdícios, quer devido ao processo quer devido a defeitos, sejam cada vez menores e assim haver uma maior eficiência. Para isto toda esta informação era levada para uma reunião diária da parte da manhã (DMS).

### **5.1.2 – Cálculo do TEE - Melhoria da apresentação dos resultados do desperdício feito no processo de extrusão**

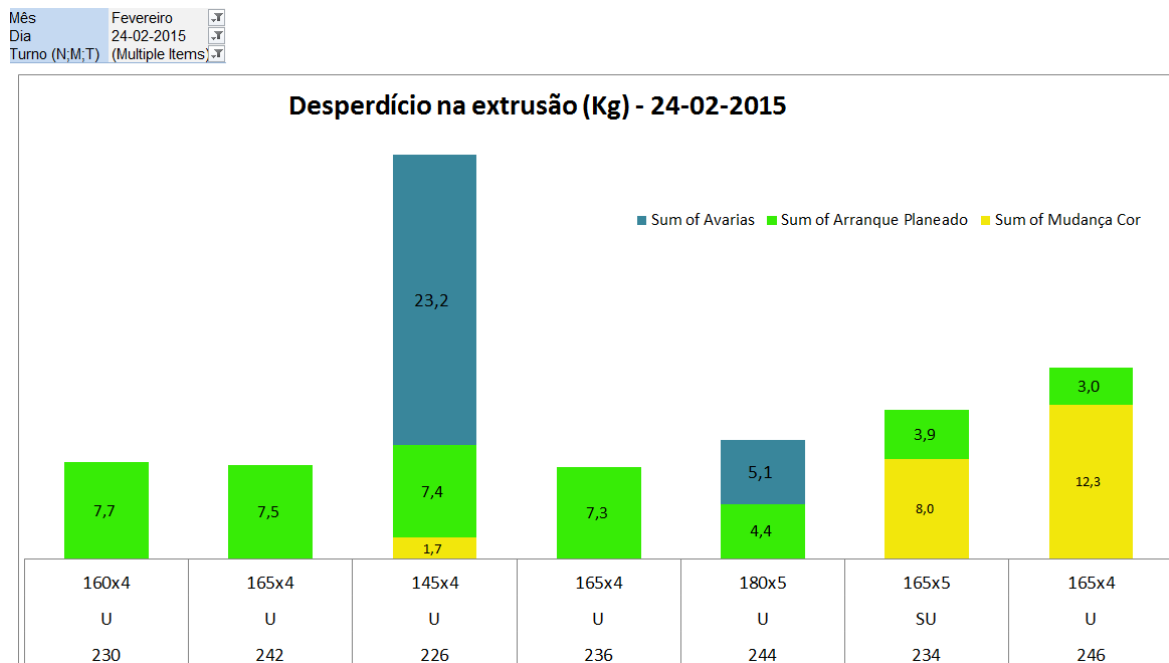
A análise feita em 5.1.1 ao desperdício de material e temporal é uma análise de, por vezes, difícil percepção, porque os valores estão apresentados em tabela. Para uma melhor compreensão do sucedido, principalmente nas DMS, era necessário criar algo mais fácil e rápido de observar e analisar.

Propôs-se fazer uma melhoria, também por sugestão do orientador de estágio da empresa, em que a apresentação de valores, para além de ser apresentada em gráficos tipo Pareto no caso do desperdício de material, também teria, no caso do desperdício temporal, uma repartição em que se calculava o TEE correctamente e os seus valores também seriam apresentados graficamente.

Como esta melhoria tinha de ser feita em Excel, começou-se a estudar uma importante ferramenta do mesmo software – tabelas dinâmicas (Pivot Tables).

○ **Desperdício de Material**

Através das tabelas dinâmicas conseguiu-se apresentar o desperdício de material por extrusora e total diário. De seguida é clarificada essa melhoria.

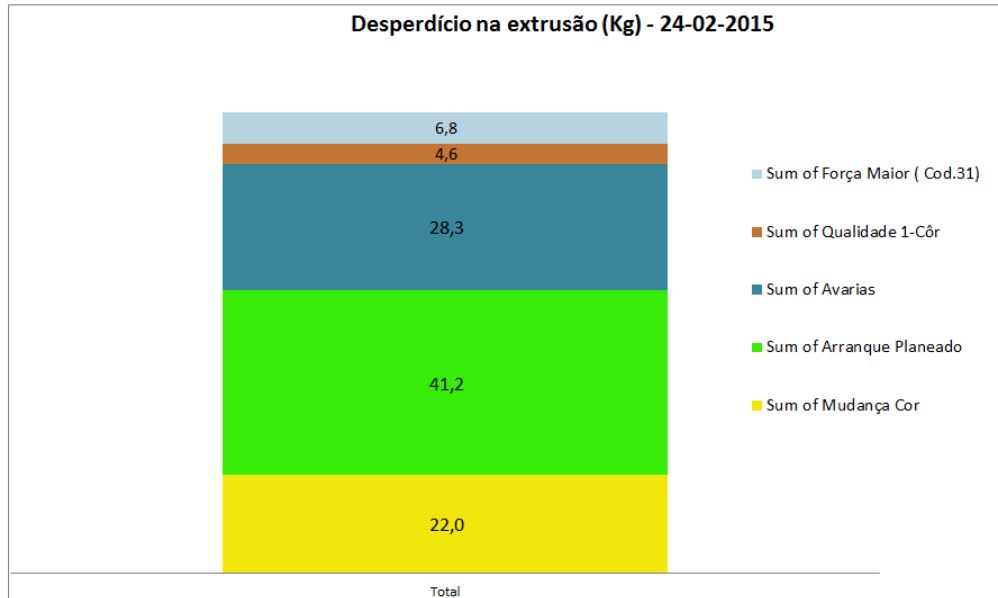


**Gráfico 2: Desperdício de material na extrusão num dia, por máquina.**

É possível observar no gráfico 2 a disposição do desperdício feito, em Kg, por extrusora. Neste exemplo, dia 24-02-2015, nas extrusoras acima, houve 3 tipos de desperdício. Desperdício devido a avarias, devido ao arranque planeado da máquina (está sempre presente mas pretende-se diminuir ao máximo) e devido à mudança de cor da palhinha (quando uma extrusora passa a produção para outra cor – também está sempre presente). É possível observar que há uma disposição em Pareto do desperdício representado a verde – arranque planeado.

Estes gráficos (2 e 3) são alteráveis, ou seja pode-se escolher o mês, dia e turno que se pretende visualizar, é só necessário que se actualize o ficheiro depois de se alterar os filtros.

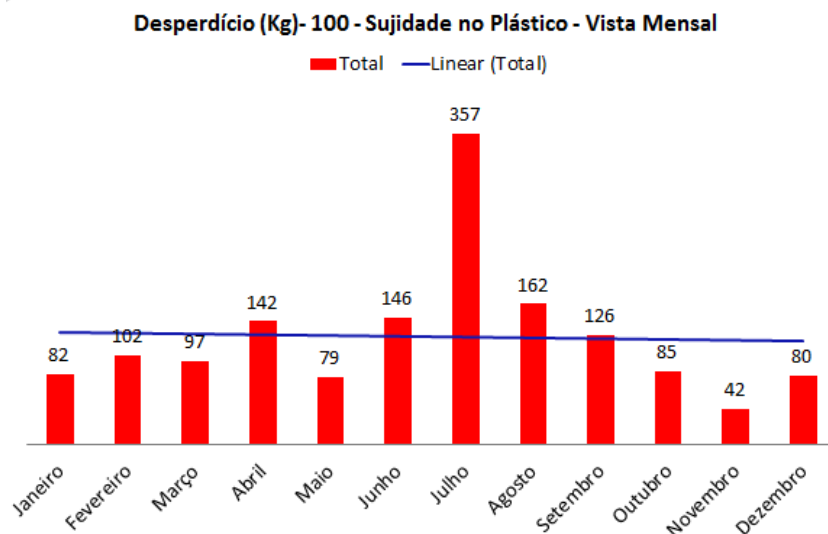
Mês	Fevereiro	▼
Dia	24-02-2015	▼
Turno (N;M;T)	(Multiple Items)	▼



**Gráfico 3: Desperdício de material na extrusão num dia, total.**

No gráfico 3 é feita a análise directa do total de desperdício existente diário, ou seja, a soma do desperdício em todas as máquinas. Neste caso particular, como exemplo, houve 41.2 Kg de material desperdiçado nos arranques planeados das extrusoras.

Também se apresentou a evolução de um desperdício bastante preocupante que tem vindo a existir ao longo dos meses, desperdício chamado de sujidade no plástico – gráfico 4.



**Gráfico 4: Evolução da Sujidade no plástico em 2014 – Mensal.**

Esta acção de fazer este gráfico foi tomada em Julho, pelo que é possível verificar que com o acompanhamento e desdobramento dos desperdícios é possível agir e ir à raiz da questão, pelo que é uma importante ferramenta, o que daí a faz uma melhoria. É possível verificar no gráfico 4 uma descida drástica de 357 Kg em Julho para 80 Kg em Dezembro. De acordo com a metodologia agora passa por reduzir ainda mais estas ocorrências até à eventual erradicação consistente do problema, sempre com acompanhamento destas estatísticas para prova, e isso é melhoria contínua.

#### ○ **Desperdício Temporal**

De seguida segue-se o tratamento dos desperdícios temporais, ou seja, tempos de não produção, com vista também a ter um desdobramento do que aconteceu para a eficiência de produção não ser máxima. Para isso, na empresa, fala-se de TEE, OEE e EE.

Neste trabalho apenas vai-se falar do TEE devido a que, na extrusão, é difícil falar das outras duas eficiências porque não há um software que contabilize as perdas temporais precisamente, o que nos outros processos da fábrica existe algo que o faz e em tempo real.

Nesta área do processo produtivo, as perdas temporais são assinaladas pelo operador, como já foi referido noutra tópico. E isso introduz erros de julgamento de qual é o tipo de perda temporal e do tempo certo em que essa perda ocorreu. Portanto a forma mais precisa de saber o TEE da máquina é pelos impulsos em que a máquina esteve em funcionamento, através da indicação de um contador.

É possível visualizar todas as perdas possíveis na figura seguinte (figura 22).

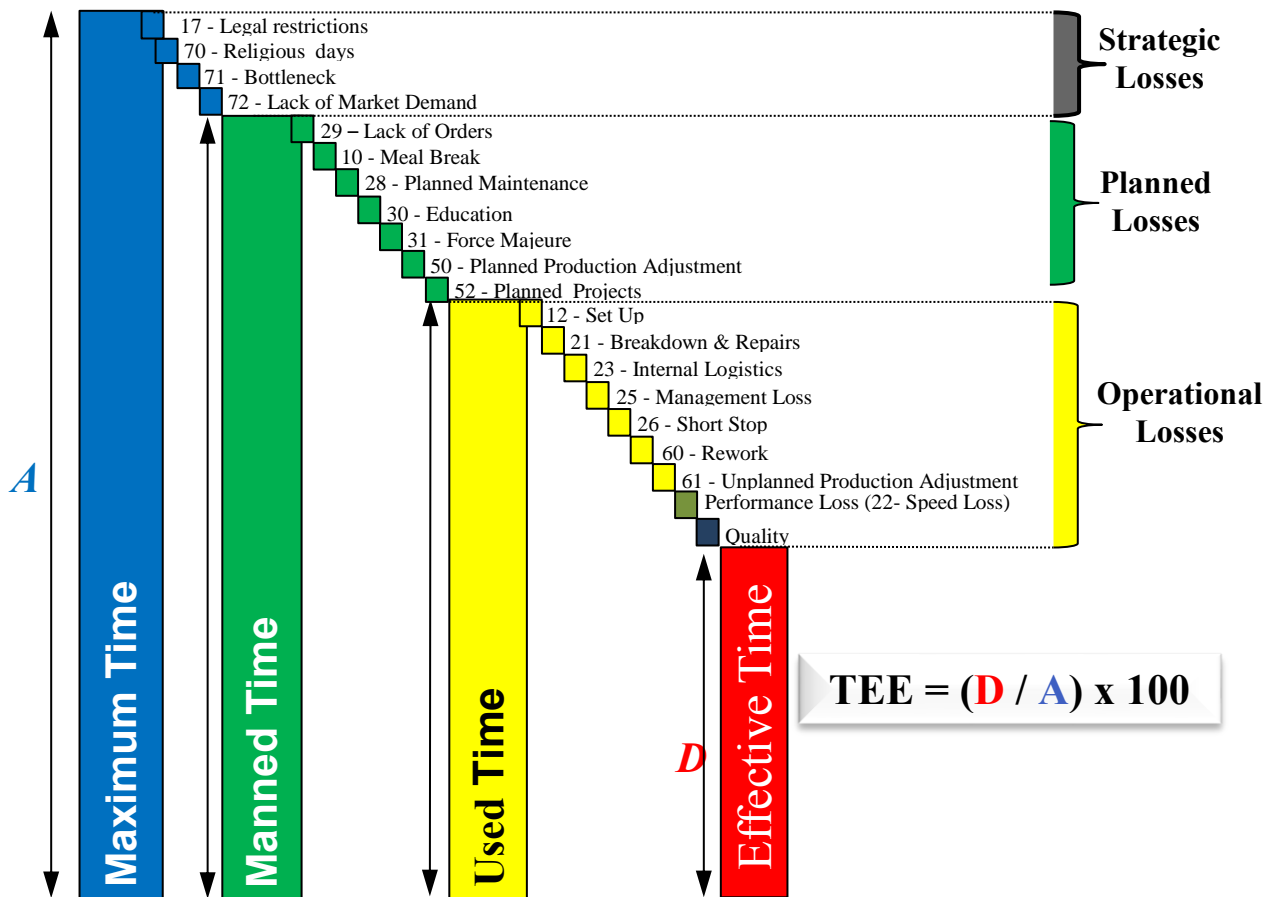


Figura 23: Perdas temporais e TEE- adaptado [7]

Primeiro começou-se por calcular o valor do TEE, adaptando uma fórmula de cálculo já existente (note-se que essa fórmula inicial continha alguns erros). Esses erros eram nomeadamente devido a suposição que a velocidade das extrusoras era igual para todas – 95000 palhas/hora, o que é errado. Para isso descobriu-se a velocidade correcta para a extrusora que dava valores mais estranhos – Extrusora 226, (TEE's muito superiores a 100%, nas ordem dos 120%), para averiguar a veracidade dessa premissa das 95000 palhas/hora. Como a extrusora não tem contador de velocidade, foi feito um teste manual de contagem.

Tabela 7: TEE com valores iniciais - com erro de velocidade.

U	230	W343	160x4	Dezembro	19-12-2014	N	A	94,74%	45000
U	226	W716	145x4	Dezembro	19-12-2014	N	A	113,68%	54000
U	244	W717	180x5	Dezembro	19-12-2014	N	A	52,63%	25000

O método de cálculo da velocidade é bastante simples, é baseado no peso. Na figura 23 é possível observá-lo.

**1º Método:**

$$\begin{array}{r}
 20 \text{ Palhinhas ----} \quad 0,0061 \text{ Kg} \\
 x \text{ Palhinhas ----} \quad 12,55 \text{ Kg} \\
 \\
 x = \quad 41147,541 \text{ Palhinhas} \\
 \\
 41147,54 \text{ ----} \quad 0,366667 \text{ (22 min em horas)} \\
 x \quad \text{----} \quad 1 \\
 \\
 x = \quad 112220,566 \quad \text{Aprox: 112000 Palhinhas/hora}
 \end{array}$$

**Figura 24: Método de cálculo da velocidade da extrusora 226**

Explicando a figura 23:

- 1 - Primeiro pesou-se 20 palhinhas – 6,1g.
- 2 - Depois deixou-se a máquina a encher uma caixa completa e registou-se quanto tempo demorou.
- 3 - Pesou-se a caixa cheia, descontando obviamente o peso da caixa (tara) – 12.55 Kg.
- 4 - Por associação saiu que a caixa continha 41147 palhinhas, aproximadamente.
- 5 – Por fim, por associação novamente, sabe-se que 41147 palhinhas foram produzidas em 22 minutos, em uma hora obtiveram-se aproximadamente 112000 palhinhas.

Daqui sai que a velocidade de funcionamento para a extrusora 226 é de 112000 palhinhas/hora.

**Tabela 8: TEE como valor de velocidade correcto.**

U	230	w343	160x4	Dezembro	19-12-2014	N	A	94,74%	45000
U	226	w716	145x4	Dezembro	19-12-2014	N	A	96,43%	54000
U	244	w717	180x5	Dezembro	19-12-2014	N	A	52,63%	25000

Pode observar-se na tabela 8 o TEE já inferior a 100%, o que é normal porque há perdas temporais.

Com isto pode-se prosseguir para o cálculo do TEE e suas perdas.

Sabe-se que o TEE é:

$$TEE(\%) = \frac{\text{Tempo efectivo de trabalho}}{\text{Tempo do turno (8 horas – tempo máximo)}} \times 100$$

Mas para o processo, tem de se basear nos impulsos da extrusora então apresenta-se essa conversão:

$$TEE(\%) = \frac{\text{Número de palhinhas produzidas no turno}}{\text{Velocidade da extrusora x turno (8 horas)}} \times 100$$

Sabe-se que cada impulso equivale a 16 palhas então:

$$TEE(\%) = \frac{\text{Impulsos x 16}}{\text{Velocidade da extrusora x turno (8 horas)}} \times 100$$

Com o TEE calculado correctamente e sabendo as perdas temporais assinaladas pelo operador e actualizadas na folha de Excel, prosseguiu-se para a apresentação gráfica dessa eficiência com a percentagem de perdas por gráficos dinâmicos (*pivot charts*).

Note-se que por vezes a soma total da percentagem do TEE e perdas pode dar ligeiramente mais ou menos que 100%, porque o método de registo não é muito preciso. Mas no entanto dá para ter uma ideia bastante boa da performance da fábrica.

Nos próximos dois gráficos estão representadas as perdas e o TEE. No gráfico 5 apresentam-se o TEE e perdas por máquina por dia e em que o TEE tem os seus valores organizados por Pareto. No gráfico 6 são exibidas as perdas e o TEE totais da fábrica num dia. É de referir novamente que os gráficos dinâmicos são alteráveis facilmente com a ajuda dos seus filtros.

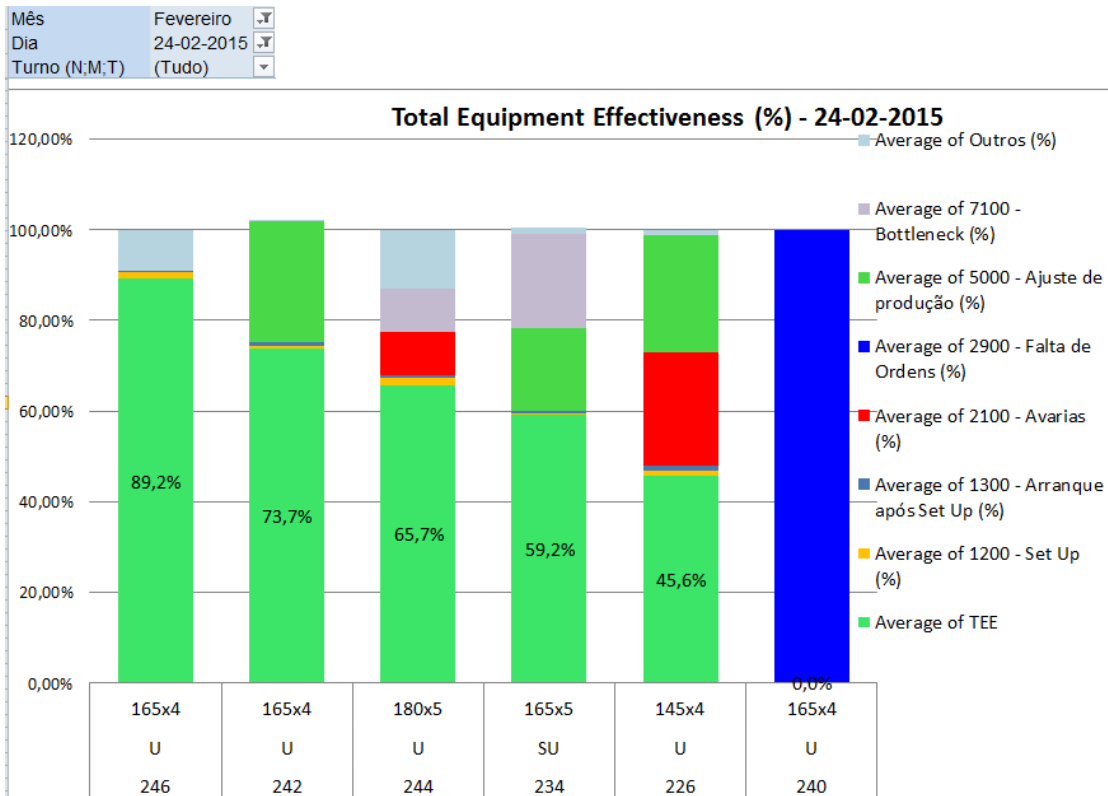


Gráfico 5: TEE e perdas por máquina.

Mês: Fevereiro  
Dia: 24-02-2015  
Turno (N;M;T): (Multiple Items)

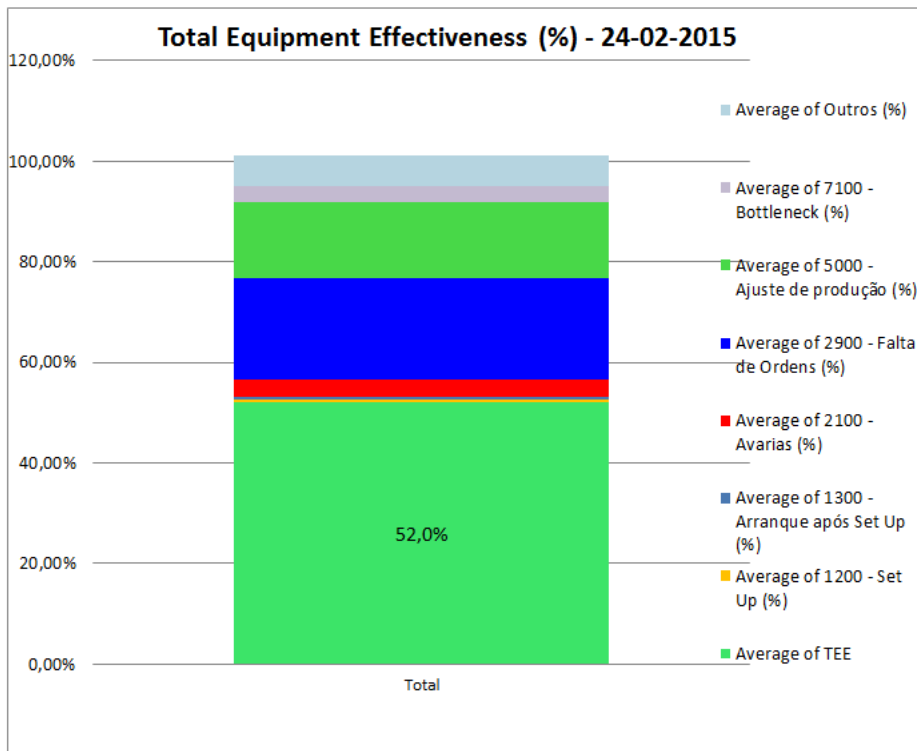


Gráfico 6: TEE e perdas - total diário.

Dos dois gráficos anteriores, extrai-se que por exemplo a extrusora com maior TEE neste dia foi a 246, com 89.2% e que no total a fábrica teve um TEE médio de 52,0 %, isto devido a muitas máquinas estarem paradas devido a não haver ordens de produção.

A apresentação, em DMS e não só, dos gráficos deste subcapítulo é bastante mais perceptível do que simples valores dispersos. Esta melhoria no processo é bastante importante e decerto que vai de certeza ajudar na melhoria do produto e na sua qualidade, devido a um maior controlo da actividade.

### **5.1.3 – Matrizes de Qualidade na extrusão**

Outra tarefa de melhoria realizada foi a introdução e actualização de variáveis críticas a controlar, na área da extrusão, numa folha de nome QM – Matrizes de Qualidade.

Variável crítica entende-se por um componente que não sendo controlado altera o produto e a sua qualidade, portanto é necessário que esse esteja em controlo por parte dos operadores.

O objectivo destas matrizes é fazer um registo de quais as variáveis e dependendo das condições atribuir-lhe um nome – ponto C ou Q. Este nome, que depois é numerado, é colado no local a controlar na máquina, por meio de uma etiqueta, e serve para saber onde fazer o controlo e/ou ajuste. A folha das Matrizes de Qualidade serve para se saber os valores padrão das variáveis, função das variáveis, o que essa variável influencia no produto, o número da etiqueta, o responsável pela manutenção, o tipo de controlo, equipamento associado, etc.

Esta matriz de qualidade divide-se em 4 parâmetros:

- Matriz QA – Qualidade Assegurada: relaciona as variáveis com o seu grau de influência no produto, em termos de afectação de dimensões, rigidez, defeitos, etc.
- Matriz QM – Gestão da Qualidade: indica o método de controlo, a frequência, quem faz o controlo, onde se faz o mesmo e como verificá-lo.
- Matriz 5C0D – 5 Condições para 0 Defeitos: através de 5 perguntas (condições), a matriz dá um resultado final e consoante esse valor averigua-se se é necessário tomar acções de melhoria do processo ou não.

- Matriz do Nível do Equipamento e Componente: identifica os componentes que afectam directamente a variável e qual a sua condição para a variável estar em controlo consistentemente.

Note-se que a matriz vem em *template* da chefia global da Tetra Pak, depois cada fábrica faz a sua introdução de dados consoante o seu processo e equipamentos. Ao autor coube a actualização e introdução de mais algumas variáveis, como referido no início deste subcapítulo, e completar a matriz nos 4 parâmetros referidos, já que a matriz não estava completa nas variáveis existentes antes desta tarefa.

De seguida, como forma de melhor elucidar o trabalho realizado neste subtema, é apresentado um exemplo/excerto dessa matriz, em que vai ser explicada uma variável crítica ao longo dos quatro parâmetros.

The screenshot shows a software interface for 'Matrizes da qualidade' (Quality Matrices). It includes a language dropdown set to 'Português', a sidebar with navigation options (QA Matrix, QM Matrix, SCOD, All), and a main content area with three levels of matrix definitions: 1 Baixa, 3 Média, and 5 Alta. Below these are definitions for 'ponto Q' and 'Condição C'. At the bottom, a table lists process parameters.

Processo	Subprocesso	Sistema	Função do sistema	Parâmetros do processo/Ajuste da máquina	Propriedade do Material de Base	Documento de referênc
Extrusão (EXT)	EXT-4-Estrutura & Quadro Eléctrico	EXT-4.2- Quadro Eléctrico	Controla o parâmetro (com o uso de componentes analógicos e digitais)	Temperatura da Extrusão - Zona 1= 165°C+/- 10		<a href="#">OPL</a>

Figura 25: Matriz da Qualidade - Variável Crítica

Na figura 24 está presente a variável crítica a controlar, a temperatura da extrusora na Zona 1 (a extrusora tem 6 zonas de calor). Inerente à variável está assinalado o processo a que a variável pertence – Extrusão; o Subprocesso - Estrutura e Quadro Eléctrico; o Sistema – Quadro Eléctrico; a Função do Sistema – Controlar o parâmetro com componentes analógicos e digitais; o seu padrão a manter – 165+/-10°C, e o documento de referência. No fundo o Processo, Subprocesso e o Sistema situam-se em que sítio da extrusora está essa variável a controlar ou onde se controla a mesma, neste caso o quadro eléctrico tem essa informação através de indicadores digitais de temperatura.



		Matriz QM (Gestão da Qualidade)				
		Como controlar?				
Q-point / C-condition	Q-point number	Qual Método é usado para ajustar o parâmetro?	Com qual frequência o parâmetro precisa ser verificado?	Quem controlará o parâmetro?	Onde controlar o parâmetro?	Como verificar se o parâmetro está em controle?
		Método a controla	Frequência	Responsável	Onde	Como
Q	1	Ajustado Manualmente	Diária	Operador	Quadro Eléctrico da Extrusora	Confrontar o padrão

Figura 27: Parâmetro: Matriz QM

Segue-se a figura 26, onde está relacionada a variável com a sua Matriz de Gestão de Qualidade, ou *Quality Management Matrix*. Esta responde às questões de qual o método para ajustar o parâmetro variável; a frequência de verificação; quem controla; onde se controla e como verificar se o padrão está controlado. Neste exemplo tem-se que o parâmetro é ajustado manualmente; é controlado diariamente pelo operador da máquina em que está aplicada a variável; o controlo é feito no quadro eléctrico da extrusora e deve ser controlado comparando o valor com o padrão existente apresentado no local.

Avanço da Confiabilidade das Condições de Qualidade						
5C0D					5 Condições para Defeito Zero	
Questões 5C0D:						
Para mostrar as questões para 5C0D :						
Selecionar "5C0D" na caixa de controle das Matrizes da Qualidade (parte superior à esquerda)						
1	2	3	4	5	Quantidade de questões 5C0D	Comentários 5C0D
5	3	1	5	3	17	Ações

Figura 28: Parâmetro: Matriz 5C0D

Na figura 27, está representada a Matriz 5C0D (5 Condições para 0 Defeitos), que são cinco perguntas que de acordo com a resposta dada dão o estado de evolução do sistema, se é muito fraco, sem tolerâncias, sem um sistema de medição, etc., ou se é mais independente, automático e fácil de controlar. As respostas variam entre os valores: 1, 3 e 5 e o sistema é tanto melhor quando maior for o número. Se no final a soma de todas as respostas for inferior ao número "Score" - 20, o processo requer acções. Neste exemplo, é visível que a variável tem valores baixos em 3 perguntas (dois "3" e um "1"), o que no final, com o somatório dá um valor inferior a 20. Isto vai requerer acções para melhorar esta variável e no geral o processo produtivo, que é o pretendido. Estas acções são por exemplo a formação de equipas com projectos para melhorar a máquina/variável.

Nível do Equipamento e Componente					
Subsistema	Componente	Condição do componente	Referência	Responsabilidade	Comentários
Componentes Eléctricos	Resistência	Sem danos a funcionar			

Figura 29: Parâmetro: Matriz do Nível do Equipamento e Componente

Por último, na figura 28, é apresentada a Matriz do Nível do Equipamento e Componente, e como explicado anteriormente, resume-se à identificação dos componentes críticos que podem fazer variar a variável crítica que se tem vindo a falar. Não há número limite de componentes, mas aqui é referido apenas um como forma de exemplificação. O procedimento é o seguinte: com a variável escolhida, neste caso a temperatura da extrusão na Zona 1, sabe-se que esta vai depender de uma resistência de aquecimento, então tem-se o componente. Se se sabe o componente, regista-se em

“Subsistema”, o sistema a que o mesmo pertence e em “Condição do Componente”, a condição que se pretende que esteja para a variável estar correcta, neste caso “Sem dano/ a funcionar”. Depois também se pode colocar a referência da peça, quem é o responsável por mantê-la e comentários.

Em breve suma deste tópico das Matrizes de Qualidade, é possível retirar que com um bom registo, organização e uma observação minuciosa do sistema, como neste caso na forma de matrizes, é possível ver o que está mal e saber onde se pode actuar. Com isto conclui-se que este tipo de ferramentas na gestão da qualidade são bastante enriquecedoras e cruciais para uma melhoria da qualidade do produto e para todas as vantagens inerentes como a compreensão dos sistemas, o que gera uma acção mais rápida em caso de haver problemas.

#### **5.1.4 - Folha de registo do peso para controlo de qualidade na extrusão**

Ainda para a área de extrusão, como forma de melhorar o processo e por sua vez melhorar o produto, desenvolveu-se uma folha de registo do peso na extrusão, por proposta do responsável da qualidade. Esta folha visa a registar o peso de 10 palhinhas, de duas extrusoras separadamente, duas vezes por cada turno. Com este registo, há um melhor controlo do peso do produto, uma vez que assim se evita falta de material, o que resulta em palhinhas muito finas ou com furos, que é um defeito, e também se evita desperdícios de material em excesso nas palhinhas, o chamado *overusage*. Tudo isto é vantajoso para o cliente, que tem uma melhor garantia por parte da empresa da qualidade das palhinhas, mas também é vantajoso para a empresa porque sabe que tem um produto com melhor qualidade, competitivo e também com uma melhor rastreabilidade.

A figura 29 contém um excerto dessa folha de registo, em que se pode assinalar o dia da medição, o turno da medição (noite, manhã e tarde) e a medição obviamente.

A medição é feita duas vezes por turno (como referido) e é feita pelo operador da área da extrusão, numa balança situada no posto de controlo de qualidade da mesma área. Só para esclarecimento, este posto de qualidade tem também diversos utensílios de medição, são estes: bitolas do comprimento das palhinhas, do seu diâmetro, entre outros.

<b>Nota:</b> Inserir o peso de 10 palhas. Pesar 2 vezes por turno nas máquinas descritas. Registrar os valores das medições (colunas: "1ª" e "2ª").			<b>Area:</b>	Célula D - linha amarela e vermelha					
			<b>Máquina:</b>	Extrusora - XX					
			<b>Peça:</b>	Palhinhas					
<b>Folha de Registo do Peso (10 palhas)</b>									
Dia: __/__/__	1ª	2ª	Dia: __/__/__	1ª	2ª	Dia: __/__/__	1ª	2ª	
Turno Noite	g	g	Turno Noite	g	g	Turno Noite	g	g	
Turno Manhã	g	g	Turno Manhã	g	g	Turno Manhã	g	g	
Turno Tarde	g	g	Turno Tarde	g	g	Turno Tarde	g	g	
Dia: __/__/__	1ª	2ª	Dia: __/__/__	1ª	2ª	Dia: __/__/__	1ª	2ª	
Turno Noite	g	g	Turno Noite	g	g	Turno Noite	g	g	
Turno Manhã	g	g	Turno Manhã	g	g	Turno Manhã	g	g	
Turno Tarde	g	g	Turno Tarde	g	g	Turno Tarde	g	g	
Dia: __/__/__	1ª	2ª	Dia: __/__/__	1ª	2ª	Dia: __/__/__	1ª	2ª	
Turno Noite	g	g	Turno Noite	g	g	Turno Noite	g	g	
Turno Manhã	g	g	Turno Manhã	g	g	Turno Manhã	g	g	
Turno Tarde	g	g	Turno Tarde	g	g	Turno Tarde	g	g	
Dia: __/__/__	1ª	2ª	Dia: __/__/__	1ª	2ª	Dia: __/__/__	1ª	2ª	
Turno Noite	g	g	Turno Noite	g	g	Turno Noite	g	g	
Turno Manhã	g	g	Turno Manhã	g	g	Turno Manhã	g	g	
Turno Tarde	g	g	Turno Tarde	g	g	Turno Tarde	g	g	
Dia: __/__/__	1ª	2ª	Dia: __/__/__	1ª	2ª	Dia: __/__/__	1ª	2ª	
Turno Noite	g	g	Turno Noite	g	g	Turno Noite	g	g	
Turno Manhã	g	g	Turno Manhã	g	g	Turno Manhã	g	g	
Turno Tarde	g	g	Turno Tarde	g	g	Turno Tarde	g	g	

Figura 30: Excerto da folha de registo do peso

Após o operador fazer o registo, faz-se o preenchimento desses valores numa carta de controlo para verificar que o processo se encontra na especificação, ou seja, dentro dos limites fixados.

## 5.2 – Redução de Defeitos

Este subtema foca as actividades que de uma forma directa levam à redução de defeitos no produto, ou seja que melhoram a qualidade do mesmo. Estas actividades realizadas servem para tentar eliminar esses defeitos de qualidade a longo prazo e não de uma forma momentânea.

### 5.2.1 - Equipa - *Bent Staw*/ Palha Torta (Análise P-M)

A forma de melhoria que houve especial atenção na realização do estágio foi na integração em uma equipa de redução de um defeito bastante frequente e preocupante –

*Bent Straw* ou palha torta. Foi prioridade prestar maior atenção a esta função por ser uma equipa de acção a um defeito, o que põe o nome da empresa em causa e por ter uma vertente bastante ligada à engenharia, que é a área em estudo.

De seguida será descrita a ferramenta seguida para a redução deste defeito e será apresentado e explicado o que foi feito por ordem de acontecimentos.

A metodologia seguida para esta equipa e que tem bastante ligação à engenharia, foi a *P-M analysis* ou em português, análise dos mecanismos físicos (análise P-M).

Como já referido, a equipa segue a metodologia-*M Analysis*, mas antes de entrar propriamente na aplicação da mesma vai-se definir o problema em concreto e os objectivos da equipa.

A equipa surge em acção a duas reclamações emitidas em Junho de 2014 por um cliente internacional, em que grandes quantidades de produto estavam com o defeito de palha torta, o que não é admissível e era necessário agir. O grupo surge não só para a razão descrita, mas também por o defeito ser o maior problema de Janeiro a Junho de 2014 e pela necessidade de a empresa se manter competitiva e evitar perda de volume devido a problemas de qualidade como este, que é uma realidade.

Relativamente ao defeito em si, *Bent Straw* ou palha torta, é um comportamento que as palhinhas adquirem devido a uma força externa e outros aspectos, e que as leva a ficarem permanentemente com uma forma curva. Na equipa, considerou-se que para uma palha ser torta a flecha máxima da palhinha tinha de ser igual ou superior a dois milímetros.

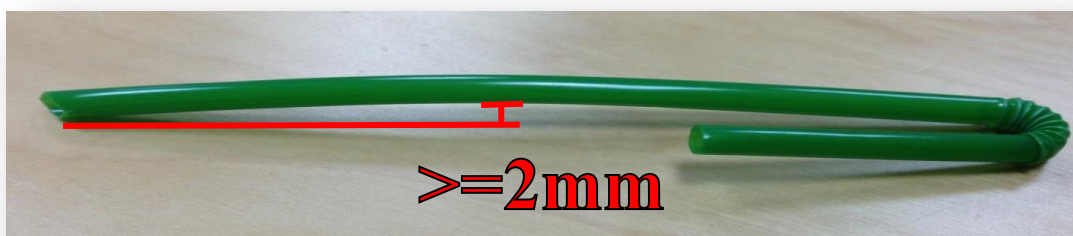


Figura 31: Definição de palha torta pela equipa

Os dois milímetros é o valor, a partir do qual, a palhinha ao ser aplicada na embalagem da bebida não adere à superfície totalmente. Isto é, o produto ao ser colado na

embalagem da bebida, como tem o esforço de flexão vai acabar por descolar-se, devido às tensões internas que a palhinha possui.

**Objectivos da empresa com esta equipa:**

Existem vários objectivos desta acção ao defeito dentro da empresa. Em seguida é apresentado um esquema que descreve os objectivos por área, sendo que os objectivos da equipa são erradicar o número de palhinhas tortas ( $\geq 2\text{mm}$ ) numa amostra de 4000 palhas retirada por caixa (cada caixa estudada tem cerca de 25000 palhinhas).

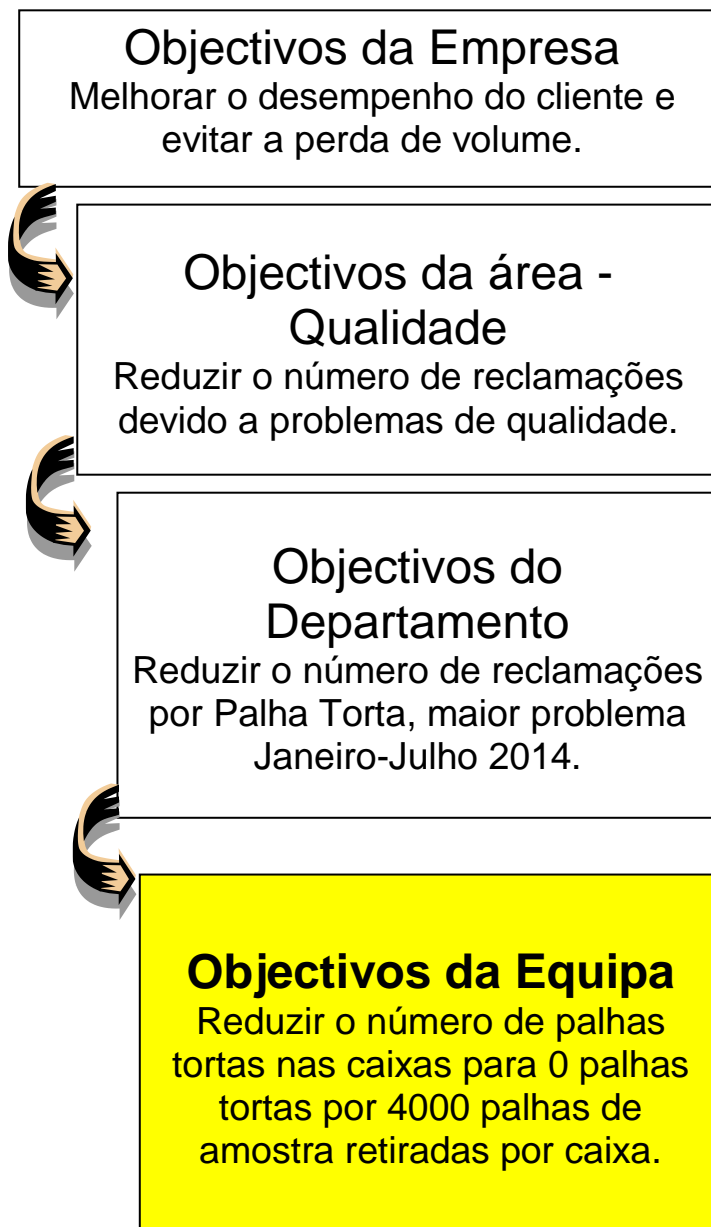


Figura 32: Esquema de diferentes objectivos que existem com esta equipa para as diferentes áreas da empresa.

Com o problema e os objectivos descritos, vai agora ser descrita a metodologia em si, sempre com a apresentação do que foi feito pela equipa em cada etapa da *P-M Analysis*.

Segundo a Consultora da empresa no TPM, e também analogamente referido no livro *P-M Analysis – An Advanced Step In TPM Implementation* [35], esta análise de modelos físicos segue uma rota de 8 passos:



Figura 33: Passos da Rota de *P-M Analysis* [7]

Com a informação da rota, a equipa teve o cuidado de nos 3 primeiros passos (1, 2 e 3) seguir a rota à risca, no âmbito de não passar para os passos seguintes sem os anteriores estarem bem definidos e claros. Isto é muito importante para que não se introduza na análise erros de julgamento, nomeadamente em admitir falsas premissas sobre a formação do defeito.

### **Medição do Indicador de Desempenho:**

Para a equipa saber se estava no caminho certo, teve de retirar uma amostra de uma caixa e medir a deflexão.

Cada caixa tem cerca de 25000 palhinhas, o que era impossível contar essa quantidade manualmente, pelo que, a equipa acordou que retirar uma amostra de 4000 palhinhas por caixa medida seria o ideal. Essa amostra seria repartida pela caixa, isto é, retirava-se 1000 palhas de 4 zonas da caixa igualmente espaçadas, no total a amostra seria, naturalmente, de 4000. Zonas essa que seriam, no topo e base da caixa e mais duas amostras pelo meio da caixa.

A flecha das palhinhas foi medida com o auxílio da ferramenta apalpa-folgas, em que era colocada a escala de 2 mm.



Figura 34: Apalpa-folgas

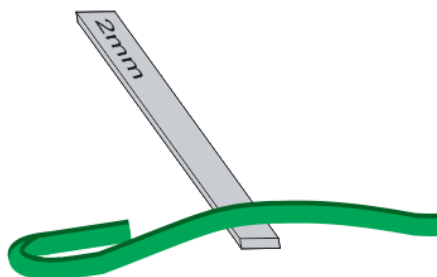


Figura 35: Representação do acto de medição com o apalpa-folgas

Note-se que mais à frente, também há o foco na obtenção dos objectivos pela avaliação do aspecto do espalhamento, porque, como se vai ver, isso tem grande influência no espalhamento e é mais prático do que medir manualmente, embora seja sempre necessário.

Portanto, com isto, retirou-se uma amostra de 4000 palhinhas de uma caixa da reclamação em que se mediu cerca de 258 palhas tortas.

**Indicador de Desempenho Inicial: 258 defeitos**

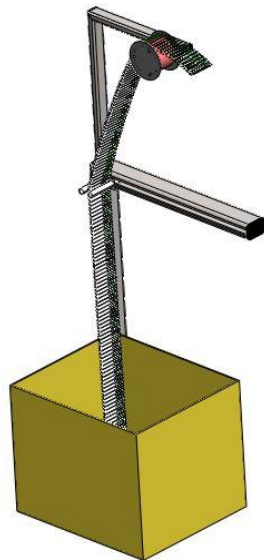
Figura 36: Indicador de desempenho inicial

Vai agora, finalmente, ser apresentado o que foi feito nesta equipa passo a passo. Note-se que cada passo tem subtemas.

- **Passo 1: Clarificar o fenómeno**

- **Passo 1.1: Eliminar ideias preconcebidas e prevenir erros**

Neste primeiro passo, de modo a melhor perceber o fenómeno da palha torta, inicialmente começou-se por eliminar ideias preconcebidas provenientes do que cada elemento da equipa pensava de qual seria a fonte do defeito. Isto é, havia várias opções de onde, no processo de produção, poderia ter sido originado o defeito. Desde ser logo um defeito da extrusão (processo inicial) ou do processo final de acomodação das palhinhas nas caixas para expedição. Para se eliminar estas divergências de ideias e prevenir erros, analisou-se os processos e concluiu-se, após o consentimento de todos os elementos da equipa, que o defeito era originado no processo final de acomodação das palhinhas na caixa, na máquina Z-Folder.



**Figura 37: Simplificação da Máquina de acomodação de palhinhas - Z-Folder, feita em *SolidWorks***

Com a fonte do defeito sabida, foi-se mais ao pormenor, dentro do processo de acomodação, para saber quais as variáveis da Z-Folder que estavam a causar a palha torta. Isto novamente para eliminar ideias preconcebidas e prevenir erros de julgamento e para haver a certeza que tudo era o mais objectivo e transparente possível. Com isto, e após olhar para a máquina e para as caixas em que se dispunham as palhinhas, concluiu-

se que o problema vinha da acomodação das palhinhas nas caixas, ou seja, o defeito resultava de um mau espalhamento dos produtos ao longo da caixa.

Na figura 37 é possível observar esse mau espalhamento pelas diversas irregularidades e espaços vazios.



**Figura 38: Mau espalhamento numa caixa da reclamação.**

Nas duas figuras seguintes é possível observar o resultado desse mau espalhamento, que é o *Bent Straw* – palha torta. É de notar dois tipos diferentes de palha torta, que resultam da acomodação das palhinhas em diferentes condições na caixa. Mais à frente vai ser explicado o fenómeno.



**Figura 39: Resultado do mau espalhamento: palha torta com vinco**



**Figura 40: Resultado do mau espalhamento: palha torta uniformemente**

Com isto, definiu-se então que as variáveis que controlavam o espalhamento eram as que tinham de ser observadas. Variáveis estas que são velocidades, posições de componentes, estática, entre outras menos relevantes.

o **Passo 1.2: Observar no local**

Após a definição das variáveis críticas, observou-se a máquina detalhadamente e foi feita uma medição, com o auxílio de um tacómetro, das variáveis que mais probabilidades tinham de variar, ou seja, as velocidades da Z-Folder, para saber se estas estavam de acordo com o padrão existente. A medição foi feita à máquina que originou a reclamação (Linha 180 – Z-Folder 164), bem como a outras da fábrica escolhidas aleatoriamente, para saber o panorama geral do controlo da velocidade neste tipo de máquinas na produção. Na tabela 9 são dados os resultados da medição.

Note-se que a Z-Folder tem 3 sistemas de velocidades que trabalham em conjunto e que dependem todos de um motor eléctrico. Mais à frente serão explicadas estas 3 velocidades bem como outros componentes.

**Tabela 9:Medição das velocidades da Z-Folder: Condições iniciais.**

Straw:	DM-163/ZF-164 180		DM-169 145		DM-149/ZF-156 145		Target			
	Test	Measured Value (RPM)	Test	Measured Value (RPM)	Test	Measured Value (RPM)				
Folders Speed	1	45,18	1	44,38	1	41,43	39 a 42	RPM	0,65-0,7	m/s
	2	46,74	2	43,7	2	39,82	39 a 42	RPM	0,65-0,7	m/s
	3	46,42	3	45,87	3	42	39 a 42	RPM	0,65-0,7	m/s
Rollers speed	1	106,4	1	80,95	1	85	95 a 104	RPM	0,6-0,65	m/s
	2	108,5	2	81,5	2	83,54	95 a 104	RPM	0,6-0,65	m/s
	3	107,1	3	83,02	3	86,03	95 a 104	RPM	0,6-0,65	m/s
Conveyors speed	1	10,5	1	7,45	1	6,36	9 a 12	RPM	0,03	m/s
	2	11,74	2	7,51	2	5,65	9 a 12	RPM	0,03	m/s
	3	11,3	3	7,73	3	6,79	9 a 12	RPM	0,03	m/s

Esta tabela, como explicado, tem os valores da medição das velocidades na Z-Folder da reclamação (apresentada na coluna mais à esquerda) e de outras da fábrica. Na coluna mais à direita está o padrão, o chamado *target*. Nas três linhas estão

representadas as 3 velocidades da Z-Folder, que são a velocidade dos espalhadores (*Folders*), dos rolos (*Rollers*) e do tabuleiro (*Conveyor*). A medição foi feita três vezes a cada velocidade, para averiguar a consistência dos resultados.

Como resultados da medição, é possível visualizar (a vermelho), que quase nenhuma velocidade se encontrava no padrão, não só na máquina da reclamação mas também nas outras. Pelo que é necessário prosseguir com este estudo para tentar diminuir e no futuro erradicar o problema.

o **Passo 1.3: Classificar fenómeno**

Após a medição e a análise da máquina e do produto nas caixas, foi-se classificar o problema com o auxílio de uma ferramenta de qualidade – 5W’s e 1H.

A ferramenta 5W’s e 1 H, é uma técnica eficaz de definir o fenómeno. No fundo é uma forma bastante “simples” de estratificar o resultado das observações e assim classificar e perceber o fenómeno [35]. Resume-se apenas em responder às questões: *Who?* (quem), *What?* (o quê), *Where?* (onde), *When?* (quando), *Which?* (quais) e *How?* (como) – 5”W’s” e 1 “H”.

Na tabela seguinte é apresentada essa ferramenta, que já contém a classificação do fenómeno falado nesta parte do trabalho – palha torta.

**Tabela 10: Classificação do fenómeno - 5W's-1H**

O quê / What	Onde / Where	Quando / When
As palhas caem em espaços vazios, durante o espalhamento, e não têm uma base de suporte regular. Com isto e estando expostas a pressão, as palhas tendem a flectir.	O fenómeno da palha torta parece estar localizado no inicio e a 2/3 do fim da caixa.	Depois de estarem expostas, durante grandes períodos de tempo, a uma pressão (mais de 72 horas).
Quais (Which)/ Porquê (why)	Como / How	Quem / Who
1- Espalhamento com ondas - cria áreas com diferentes alturas. 2- Não usar toda a caixa - as palhas caem em espaços vazios (nas laterais e topos). 3- Método do operador aplicar força para fechar as caixas. 4- Adicionar mais filme do que o necessário (velocidade) - cria áreas com diferentes alturas.	A palha dobra com o peso exercido nela, devido a um apoio deficiente da mesma em cima de outras palhas.	É dependente do principio da produção e também do operador.

1. **O quê?** As palhas caem em espaços vazios durante o espalhamento, e não têm uma base de suporte regular. Com isto e estando expostas à pressão das palhas adjacentes, estas tendem a flectir.

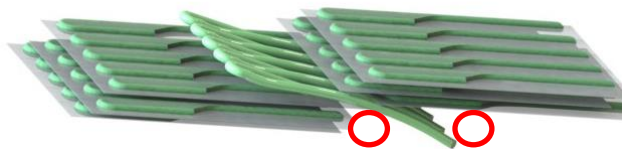


Figura 41: Representação simplificada em *SolidWorks* do espalhamento das palhinhas. A vermelho encontra-se o falado espaço vazio que vai dar liberdade à palhinha para dobrar.

2. **Onde?** O fenómeno parece estar localizado no início e a 2/3 do fim da caixa.

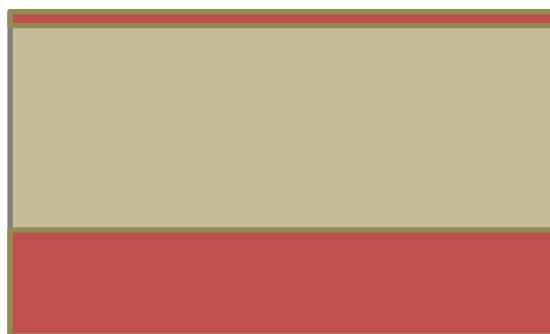


Figura 42: Representação das zonas de maior concentração de defeitos (a vermelho) por palha torta na caixa de acomodação (vista lateral).

3. **Quando?** Depois de estarem expostas, durante grandes períodos de tempo, a uma pressão (mais de 72 horas).

O polímero necessita, para estar totalmente cristalizado e na máxima rigidez, de 72 horas e isso não acontece porque não se consegue produzir e só 3 dias depois é que se acondicionava o produto, não haveria espaço nem meios na fábrica para tal.

4. **Quais?** Espalhamento com ondas – cria áreas de diferentes alturas e por isso cria espaços vazios que são factores que aumentam a probabilidade de palha torta; Não utilizar a caixa na sua totalidade (palhinhas não atingem as laterais ou topos da caixa) – faz as palhinhas caírem em espaços vazios errados; método do operador e a adição de mais filme que o necessário – cria áreas com diferentes alturas também.

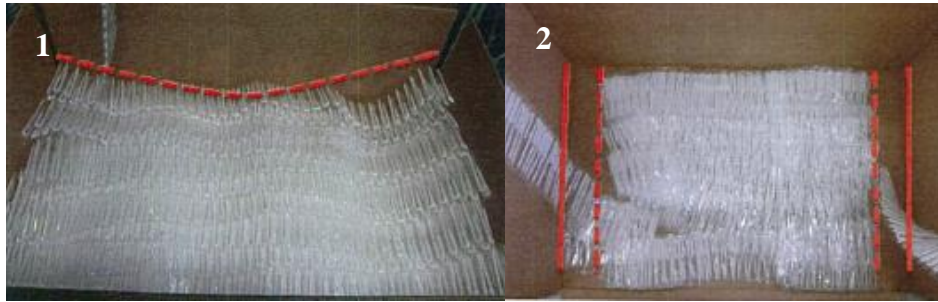


Figura 43: 1 - Espalhamento com ondas; 2 – Caixa não usada na totalidade (exemplo exagerado)

5. **Como?** As palhinhas dobras com o peso das palhas acima destas, devido a um apoio deficiente das mesmas em cima das imediatamente abaixo.

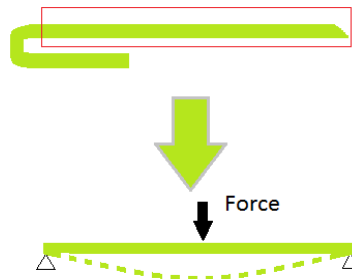


Figura 44: Representação simplificada de um mau apoio das palhinhas, que cria palha torta. Deve haver mais apoios no corpo da palha para a flecha máxima ser menor e este defeito não ser criado.

6. **Quem?** É dependente da produção e da atenção e técnica do operador. A dependência do operador é no facto de ser necessário ir observando a caixa e o seu espalhamento, bem como na hora deste fechar a caixa que também exige uma técnica própria.

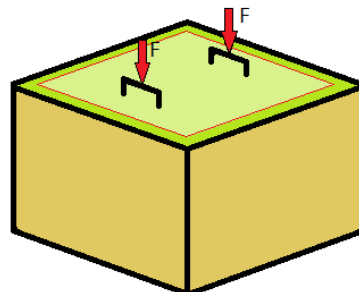


Figura 45: Representação da aplicação de pressão nas palhinhas, pelo operador, para posteriormente cerrar a caixa.

○ **Passo 1.4: Investigar desvios**

Após a análise 5W's e 1H, foi-se investigar desvios ao espalhamento perfeito ou aceitável, ou seja, foi feita uma distinção entre o que é um espalhamento normal e um anormal/mau.

A figura 45 representa esses desvios ao espalhamento normal/bom.

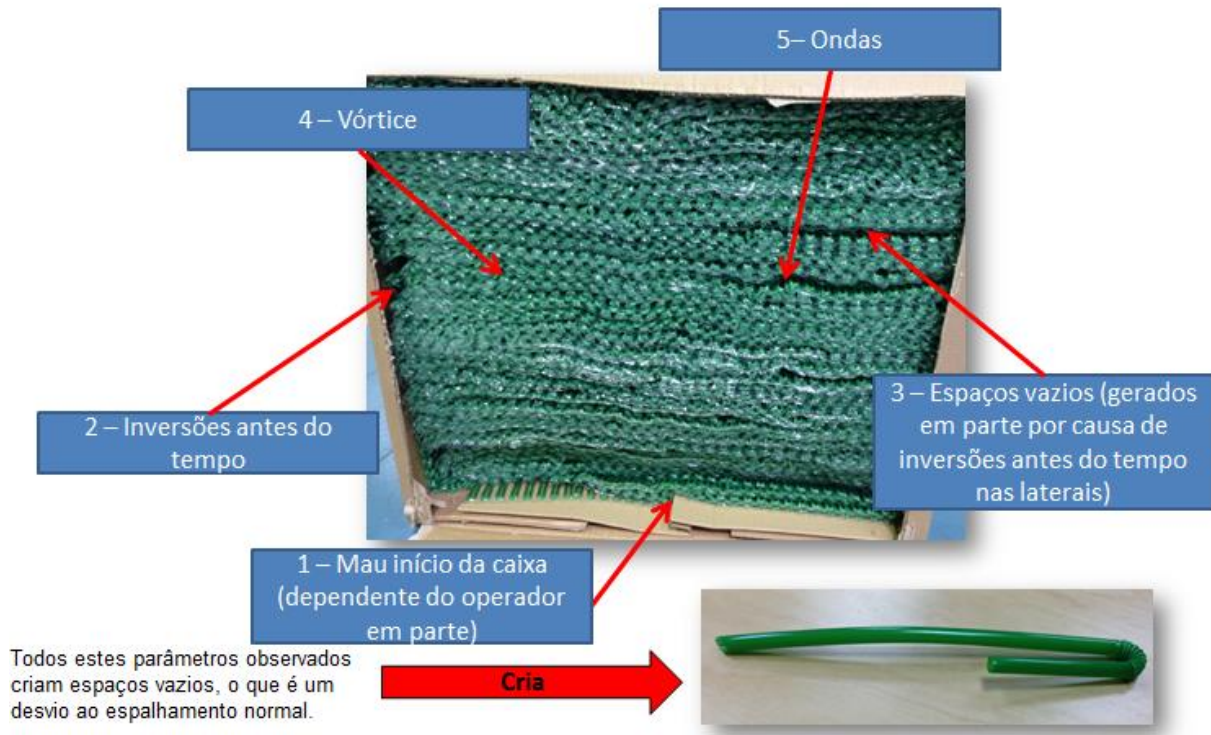


Figura 46: Desvios ao espalhamento normal

○ **Passo 1.5: Descrever o fenómeno**

Por fim neste passo 1, é descrito o fenómeno, em que é o resultado de uma suma do que foi extraído das alíneas anteriores. É uma forma de conclusão deste passo 1.

Então, o fenómeno da palha torta ocorre quando existe um mau espalhamento e pode ser agravado com a pressão aplicada nas palhinhas na altura de fecho da caixa (pelo operador), e ao longo do tempo, com o seu armazenamento, em que a caixa se encontra fechada. Isto é, as palhinhas ao serem espalhadas com ondas, diferentes distâncias e condições, amontoamentos, vórtices, entre outros, acaba por criar espaços vazios por entre as mesmas. Estes espaços vazios são zonas em que a palhinha não tem o apoio sólido de outras, o que faz com que o peso em cima das mesmas crie uma carga distribuída, que através de tempo e pressão excessiva acaba por curvar o produto. Este

fenómeno, em termos da deflexão da palhinha é tanto maior quanto for a altura/volume de espaço vazio entre os filmes.

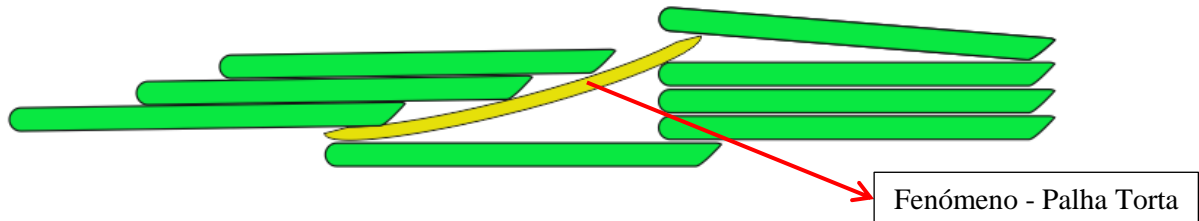


Figura 47: Representação do Fenómeno - *Bent Straw*/Palha Torta

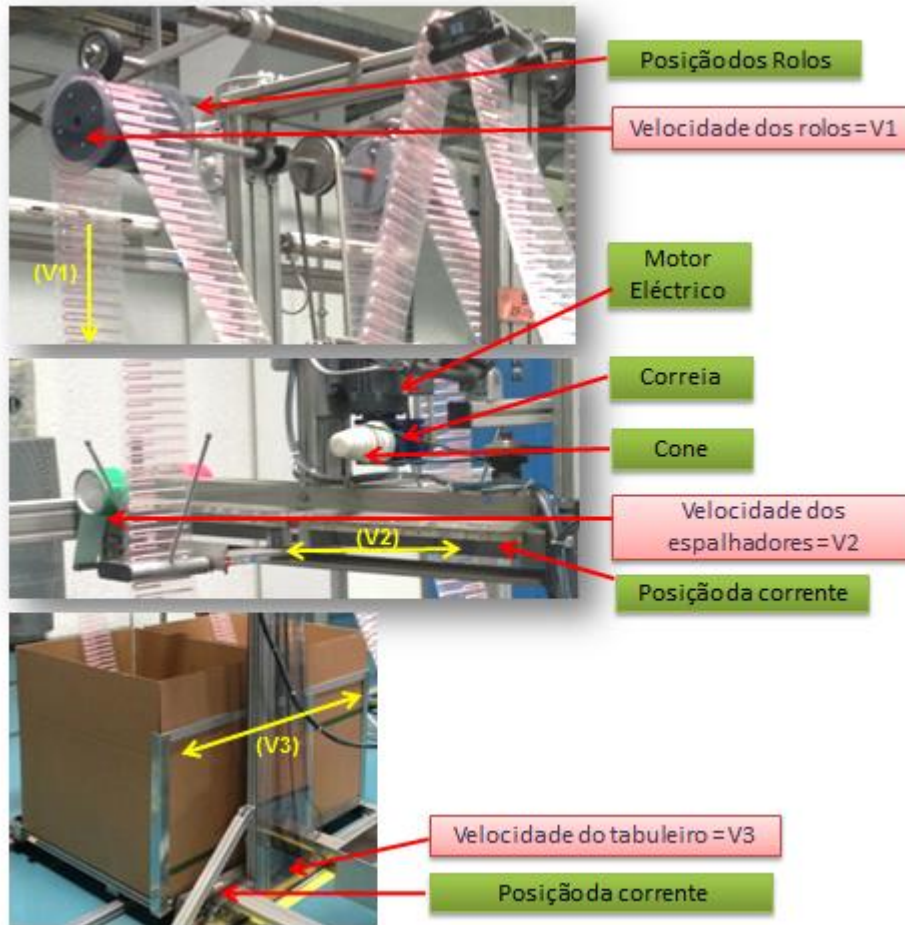
- **Passo 2: Conduzir uma Análise P-M**

Este passo, segundo Shirose, para além de importante é o mais crítico para o sucesso da *P-M Analysis* [35]. Quando este passo for correctamente percebido, os outros passos seguintes são mais simples. Este passo explica como a análise P-M conecta o fenómeno e as causas do mesmo. Descreve o fenómeno em termos físicos.

Este passo conta com sete alíneas, que vão de acordo com Shirose [35] na sua génese, mas têm um maior aprofundamento e subdivisões, devido ao seguimento dos livros da consultora da empresa.

- **Passo 2.1: Fazer um desenho dos mecanismos para perceber a sua função**

Nesta alínea é apresentada uma representação, resumida, dos mecanismos que mais influenciam o espalhamento.

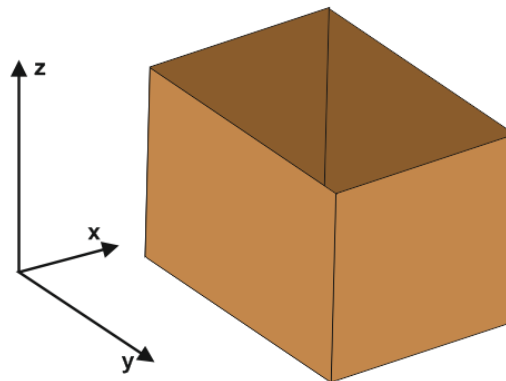


**Figura 48: Representação dos mecanismos - Z-Folder**

Com a identificação dos mecanismos da máquina (Z-Folder das palhinhas de 180mm), que de alguma forma é resumida na figura 47, começou-se a perceber o funcionamento dos sistemas, como eles interagem entre si e como influenciam o espalhamento.

De uma forma sintetizada, a máquina funciona com um motor que distribui a sua potência (binário e velocidade), para três zonas que são os três sistemas de velocidades existentes. Todas as velocidades dependem do mesmo motor. A velocidade “ $V1$ ” é a velocidade dos rolos e a qual o filme é espalhado na caixa. A velocidade “ $V2$ ” é a velocidade dos espalhadores, em que a máquina “espalha” a palha segundo o comprimento da caixa (direcção y). Finalmente, a velocidade “ $V3$ ” é a velocidade do tabuleiro e faz mover a caixa para haver um espalhamento na sua largura (direcção x).

Para além da velocidade existem posições e componentes que fazem a transmissão da velocidade aos rolos, espalhadores e tabuleiro.



**Figura 49: Direcções da caixa de acomodação**



Daqui começou a ser perceptível que as velocidades eram as variáveis mais importantes de controlar, pelo que são as únicas que podem variar mais ao longo do tempo, uma vez que as posições dos componentes são fixas e dificilmente variam durante o processo de forma significativa.

- **Passo 2.2: Lista de componentes**

Após os mecanismos, apresentados na alínea anterior, terem sido clarificados, são agora apresentados os componentes críticos, após ter sido feita uma análise minuciosa à máquina no terreno.

Os componentes têm o seu nome original a inglês devido a estarem identificados da mesma forma na árvore de componentes existente em livro na empresa, e por isso, para ser mais correcto, são apresentados na língua internacional.

Os componentes críticos estão rodeados com uma caixa vermelha nas figuras que se seguem.

Area	Assembly	Component
<b>STRAW BAND GUIDANCE</b> 	<b>Feed Rollers unit</b> 	1 Feed Rollers 13-4-970113
		2 Gabel 13-5-970113
		3 Shaft
		4 Pulley 13-9-920630
		5 Bearing plate 13-1-960819
		6 Pillow block & bearing
		7 Bracket for rail 13-14-920604
		8 Handrails 13-13-920604
		9 Non-fric feed rollers 13-1-940427
		10 Bracket for non-fric 13-11-920604
DATA COLLECTION CODE		2 1 0 1 5 2 0

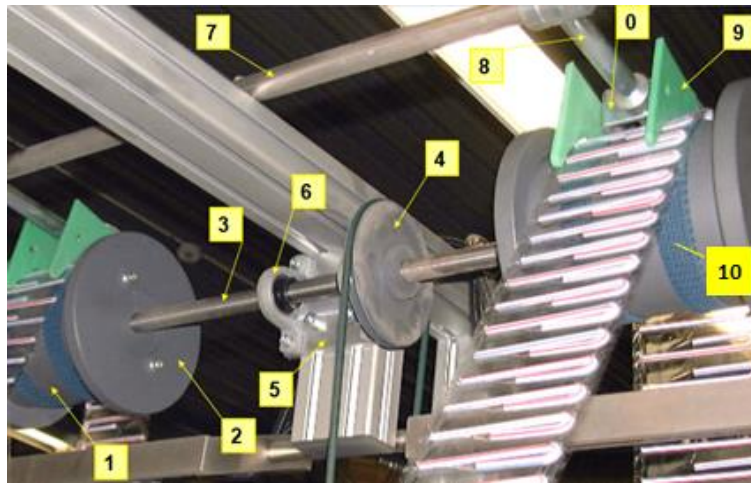


Figura 50: Componentes do Sistema da Velocidade dos Rolos (V1)





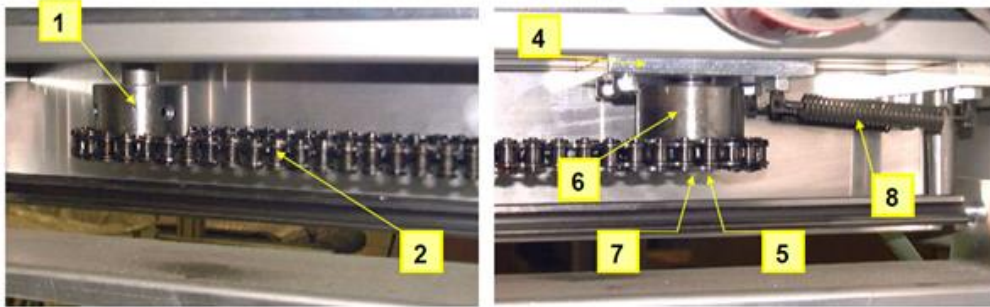
Assembly	Component
<b>Ionization unit</b> 	1 Axle 13-3-990529
	2 Left Suport 13-1-990529
	3 Right Suport 13-2-990529
	4 Ionization Bars
	5 Ionization Power Supply
	6
	7
	8
	9
	10





Figura 51: Componentes da anti estática

Area	Assembly	Component
<b>ENGINE &amp; TRANSMISSIONS</b>  	<b>Folders transimtion</b> 	1 Chain wheel
		2 Chain 13-1-990411
		3 Chain pin
		4 Plate 13-13-920630
		5 Shaft chain wheel 13-1-940202
		6 Tightening chain wheel 13-14-920630
		7 Bearing
		8 Spring
		9
		0

DATA COLLECTION CODE    2 1 0 1    6 3 - 0



Area	Assembly	Component
<b>STRAW BAND GUIDANCE</b> 	<b>Folders unit</b> 	1 Sit 13-1-970418
		2 Bearing
		3 Adjusting plate 13-5-920605
		4 Steering plate 13-3-920414
		5 Flange 13-3-960530
		6 U-bolt 13-1-930323
		7 Linear guide 13-1-990901
		8 Plate 13-15-920630
		9 Distances 13-1-981207
		0 Lower cover 13-4-970423

DATA COLLECTION CODE    2 1 0 1    5 4 - 0

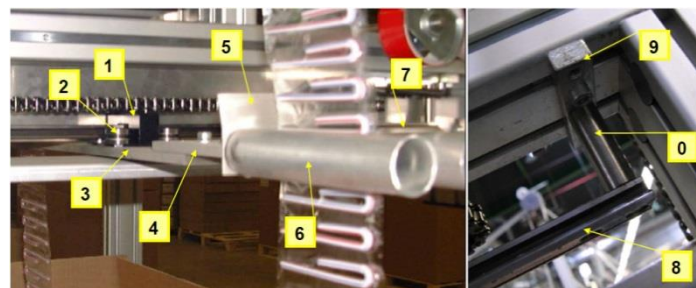




Figura 52: Componentes do Sistema da Velocidade dos Espalhadores (V2)

Area	Assembly	Component
<b>ENGINE &amp; TRANSMISSIONS</b> 	<b>Transmition - Conveyor</b> 	1 BearingPlate 13-3-920603
		2 Stop 13-2-920603
		3 Spacer
		4 Pillow block
		5 Bearing
		6 Wheelshaft 13-2-920604
		7 Chain wheel
		8 Chain 13-2-990441
		9 Chain Pin
		0 Flange 13-5-920604

DATA COLLECTION CODE    2 1 0 1    6 5 - 0

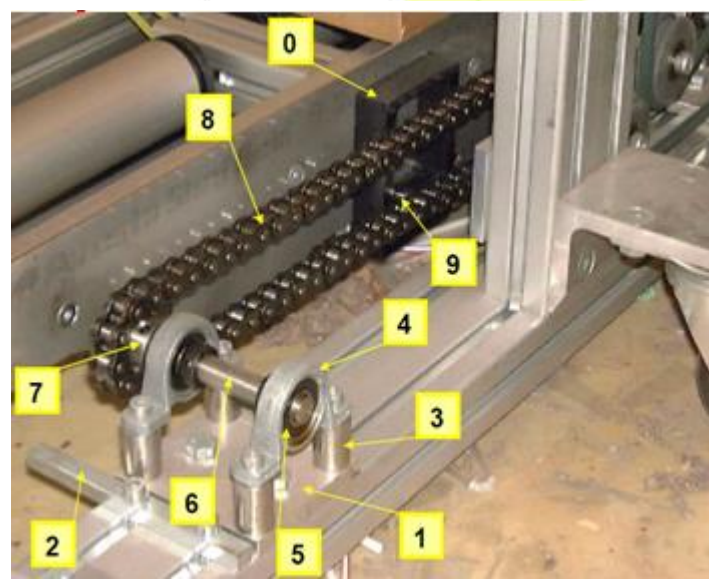




Figura 53: Componentes do sistema da Velocidade do Tabuleiro (V3)

Area	Assembly	Component
5 STRAW BAND GUIDANCE 	1 Guide rollers 	1 Plate 13-3-981207
		2 Bracket U-shape 1
		3 Bracket U-shape 2
		4 Lateral guide 13-2-931102
		5 Axle
		6 Band guide roller
		7 Handle
		8
		9
		0

DATA COLLECTION CODE	2	1	0	1	5	1	-	0
----------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

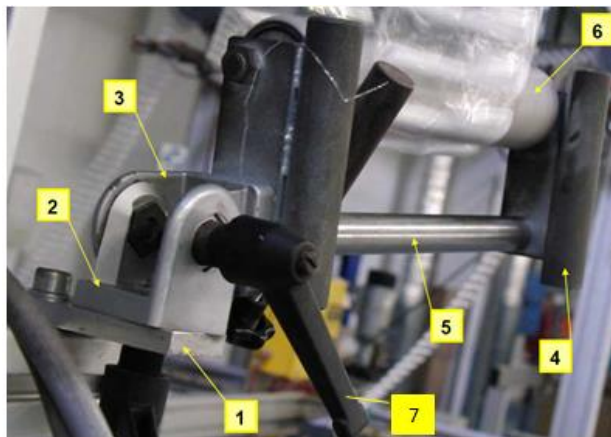


Figura 54: Componentes de um Sistema Auxiliar de reencaminhamento do filme na máquina - Rolos Guia

○ **Passo 2.3: Descrição dos Padrões**

Com os componentes críticos definidos, avaliou-se quais os standards existentes para posições, velocidades e condições da máquina.

A tabela 11 refere os padrões existentes na empresa, relacionados com o espalhamento, para a Z-Folder.

Como é possível verificar, também na tabela seguinte, muitos dos elementos não são verificados pelo operador ou manutenção, o que é algo que tem de ser feito e então melhorado.

Tabela 11: Standards da Z-Folder [7]

Elemento	Standard	Verificação
Posição (eixo X)	Centrada com a Doctor machine (no meio da banda de palhinhas).	Sim
Posição (eixo Y)	Referência: <b>500mm</b> da Doctor machine.	Não
Estrutura	Estrutura com elementos reforçados.	Sim
Posição - rolos guia	A superfície dos rolos deve estar em contacto com toda a superfície do filme de palhinhas.	Sim
Posição - rolos superiores	Distância para garantir que quando as caixas estão no limite esquerdo/direito do deslocamento, as margens do filme coincidam com as margens da caixa. Referência: <b>215mm</b> . (Desde o meio da maquina até ao rolo).	Sim
Posição - espalhadores	A parte lateral dos espaçadores não deve estar em contacto com o filme de palhinhas.	Sim
Comprimento - corrente dos espalhadores	Referência: <b>800mm</b> .	Não
Comprimento - corrente do tabuleiro	Referência: <b>500mm</b> .	Não
Transmissão da caixa de engrenagens para o tabuleiro	Corrente + roda tensionadas.	Não
Velocidade do filme de palhinhas	A velocidade linear da banda nos rolos superiores deve ser igual à velocidade do mesmo na Doctor machine. Referência: velocidade linear = <b>0,6 - 0,65 m/s</b> .	Não
Velocidade dos espalhadores	Referência: velocidade linear= <b>0,65 - 0,7 m/s</b> .	Não
Velocidade do tabuleiro	Referência: velocidade linear = <b>0,03 m/s</b> .	Não
Largura da abertura - guia da corrente	Referência: largura = <b>10mm</b> .	Não
Posicionadores das caixas	Restrição dos movimentos da caixa no plano X e Y.	Sim

Como grande parte dos standards não eram verificados, houve o cuidado de ir à máquina para confrontar alguns dos mesmos padrões e observou-se que a maioria deles não estava correcta. Com isto, abriu-se etiquetas para haver uma acção da área da manutenção para reposição dos standards que eram as condições básicas em que a máquina deveria encontrar-se.

Figura 55: Exemplo de uma etiqueta aberta

Tabela 12: Etiquetas levantadas

Nº	Data de Abertura	Nº Eti.	Máq.	Descrição do Problema	Ação Corretiva	Status
1	20-ago-14	30999	DM163/ Z-F 164	As polias (entre os rolos superiores e o motor) estão desalinhadas	Alinhamento das polias dos rolos superiores e do motor	Fechada - 23/08/2014
2	20-ago-14	30960	DM163/ Z-F 164	O veio dos rolos superiores está torto	Afinação do rolo superior	Fechada - 23/08/2014
3	9-set-14	29598	DM163/ Z-F 164	Cordão verde com muito desgaste	Substituição do cordão	Fechada - 9/9/2014
4	9-set-14	29597	DM163/ Z-F 164	Borracha dos rolos com desgaste	Substituição das borrachas por manga aderente	Fechada - 9/9/2014
5	7-out-14	29649	DM163/ Z-F 164	Potenciometro danificado	Substituição do potenciometro	Fechada - 8/10/2014
6	7-out-14	29643	DM163/ Z-F 164	Balanço desapertado e desalinhado	Reparação do conjunto de balanço	Fechada - 8/10/2014
7	7-out-14	29644	DM163/ Z-F 164	Guias soltas e desalinhadas	Afinação e fixação	Fechada - 8/10/2014
8	7-out-14	30650	DM163/ Z-F 164	Rolamentos da guia desalinhados	Afinação dos rolamentos à guia	Fechada - 9/10/2014
9	7-out-14	30649	DM163/ Z-F 164	Correntes com folgas, chumanceiras desapertadas	Reparação do conjunto	Fechada - 9/10/2014
10	7-out-14	29645	DM163/ Z-F 164	Paragem do motor desajustada	Afinação dos parâmetros	Fechada - 8/10/2014
11	7-out-14	29646	DM163/ Z-F 164	Borrachas soltas	Fixação das borrachas	Fechada - 8/10/2014

As inconformidades com os standards foram resolvidas pelo mecânico integrado na equipa.

Com isto, mediu-se novamente o indicador de desempenho e conseguiu-se obter 37 ocorrências de palha torta em 4000 palhinhas. Isto é bastante positivo porque só pela reposição dos padrões nota-se melhoria (de início houve 258 ocorrências, como referido). Aliada a esta melhoria também extrai-se a importância que os padrões têm no processo, pelo que estes vão passar a ser medidos regularmente (os que não eram). Mais à frente é referido esse novo plano de inspecção.

**Indicador de Desempenho – condições básicas repostas: 37 ocorrências**

Figura 56: Indicador de desempenho com condições básicas repostas

○ **Passo 2.4: Lista dos parâmetros físicos entre os componentes**

Nesta alínea pedia-se a criação de uma lista de parâmetros físicos entre os componentes, aos quais podiam variar durante o processo. Então foram definidos os seguintes (já em concordância com o que se tem vindo a falar – velocidades e posições):

- (V1) – Velocidade do filme (m/s ou RPM)**
- (Xro) – Posição dos rolos (mm)**
- (V2) – Velocidade dos espalhadores (m/s ou RPM)**
- (Lf) – Comprimento da corrente dos espalhadores (mm)**
- (V3) – Velocidade do tabuleiro (m/s ou RPM)**
- (Lc) – Comprimento da corrente do tabuleiro (mm)**
- (St) – Valor de electricidade estática (kV/inch)**

○ **Passo 2.5: Interação entre os parâmetros físicos**

A lista do passo anterior (2.4) serve também agora para se definir a interacção entre eles, porque cada um afecta o comportamento do outro. Esta interacção pode ser baixa, em que quase não há influência; pode ser média e pode ser alta, em que nesta última afecta directamente o parâmetro, há uma dependência.

Note-se que as conclusões da interacção que vão ser descritas na tabela seguinte são o resultado de uma exaustiva análise da Z-Folder, em que investiu-se imenso tempo e recursos a olhar minuciosamente para os mecanismos e para o seu funcionamento, fazendo experiências e mudanças de condições, tudo para se perceber melhor a essência da máquina e em resultado a interacção dos sistemas.

**Tabela 13: Interação de parâmetros**

	V1	Xro	V2	Lf	V3	Lc	St
(V1) – Straws ladder web (m/s)	-	Low	High	Medium	High	Medium	Low
(Xro) – Rollers Position (mm)	Low	-	Low	High	Low	High	Low
(V2) – Folders Speed (m/s)	High	Low	-	Low	High	Medium	Low
(Lf) – Folders chain Length (mm)	Medium	Low	High	-	Medium	High	Low
(V3) – Conveyor Speed (m/s)	High	Low	High	Medium	-	High	Low
(Lc) – Conveyor Length (mm)	Medium	High	Medium	High	High	-	Low
(St) – Static value (Kv/inch)	Low	Low	Low	Low	Low	Low	-

Na tabela 13, a rosa estão representadas as interacções baixas, a amarelo as médias e a verde estão as interacções altas, que directamente afectam os parâmetros em que estão a ser comparadas.

É de referir que as três velocidades têm uma alta interacção umas com as outras devido a estarem dependentes umas das outras devido a haver apenas um motor para os três sistemas.

#### o **Passo 2.6: Seleccionar a quantidade física**

Nesta penúltima alínea deste passo (2), vai-se referir, como o título indica, a quantidade física que pode variar e pelo qual é necessário definir, para no último passo (2.7) se fazer a equação que explica o funcionamento do mecanismo.

As quantidades físicas são as posições (comprimentos, afastamentos, diâmetros das polias e rodas dentadas, etc.) e velocidades (as três que se tem vindo a falar).

As **posições** são definidas em metros ou milímetros [**m ou mm**] e as **velocidades** em metros por segundo ou rotações por minuto [**m/s ou RPM**].

Por vezes pode parecer estranho medir em rotações por minuto [RPM], mas foi a forma mais prática encontrada para medir com o tacómetro na máquina, uma vez que tirar a velocidade linear com a máquina em funcionamento é pouco prático e perigoso, por precisar de contacto com o filme. Se a medição for feita em RPM, esta já é mais segura e fidedigna devido ao tacómetro, nesta opção das rotações por minuto, medir com um feixe LASER. No fim, em termos do controlo da condição vai dar ao mesmo, porque em inspecções observa-se apenas a variação ao valor padrão que é apresentado em RPM.

#### ○ **Passo 2.7: Fazer a equação**

Nesta última alínea do passo 2, é apresentada a equação que melhor representa o espalhamento, que como é sabido influencia directamente a criação ou não de defeitos por palha torta. A alteração de valores das variáveis da equação vai alterar directamente as condições de espalhamento e em consequência vai alterar e gerar bom ou mau espalhamento.

É de salientar que embora tenha-se vindo a falar de comprimentos de correntes, posições de componentes, etc., os comprimentos que são necessários ter especial atenção são os comprimentos dos diâmetros, porque estes é que fazem variar a velocidade directamente, através da desmultiplicação do binário do motor para os três sistemas.

As posições de correntes e afins são apenas importantes para haver um bom funcionamento do sistema e criar ligação entre os corpos rotativos. Claro que obviamente são importantes, mas não entram directamente para a equação.

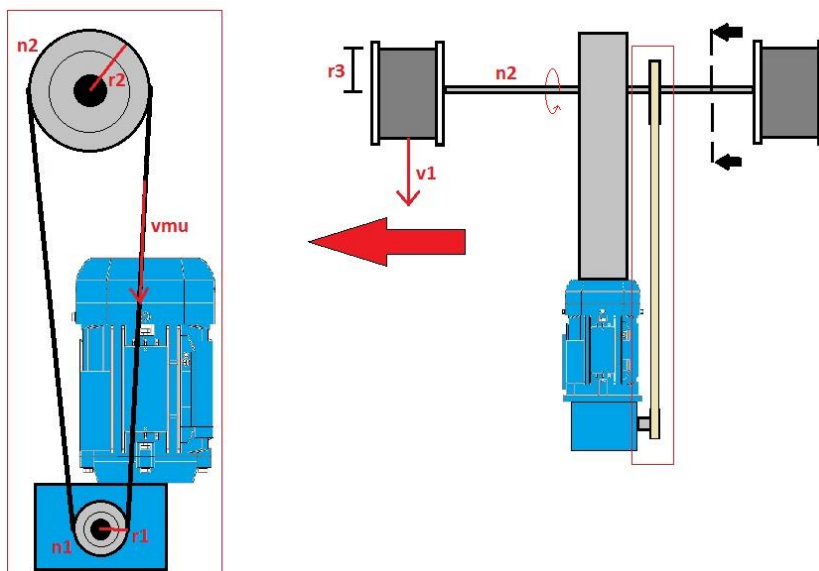
Chegou-se à conclusão, através destas análises minuciosas que se tem referido, que a velocidade é a grande responsável para o bom ou mau espalhamento. Por exemplo se se aumentar muito a velocidade  $v_1$ , que é a velocidade dos rolos, é sabido que vai criar vórtices e ondas no espalhamento, devido ao filme não ficar esticado. Então a partir daqui começou-se a ter a noção de que para haver um bom espalhamento era necessário haver uma combinação perfeita e consistente entre as velocidades, o que a definição desta equação foi ajudar bastante não só em termos de cálculos mas em termos de abrir horizontes e orientar a equipa para o caminho certo.

De seguida são apresentadas as equações para cada uma das velocidades. Estas equações foram pensadas e deduzidas em concordância com os conhecimentos adquiridos no curso no ISEL e com alguma ajuda bibliográfica. Juntamente com cada equação é apresentada uma figura em que é possível visualizar o sistema da velocidade que a representa individualmente, bem como os componentes que fazem variar a mesma.

Note-se que “r” são raios (m), “v” velocidades lineares (m/s), “n” revoluções por minuto (RPM) e “w” velocidades angulares (rad/s).

As equações derivam da fórmula básica da relação de velocidade linear com a velocidade angular:  $v = W * r$  (velocidade = velocidade angular x raio) [40]□.

□ Sistema Velocidade dos Rolos/ Filme (V1)



Legenda:

r1= raio da polia do motor após a caixa angular  
n1= rpm do eixo da polia do motor após a caixa angular  
vmu= velocidade linear do circuito motor - upper rollers  
r2= raio da polia dos upper rollers  
n2 = rpm do eixo dos upper rollers  
r3= raio dos upper rollers  
v1= velocidade linear dos upper rollers e se não houver escorregamento, velocidade linear do filme também  
 $w1=2*PI*n1/60$

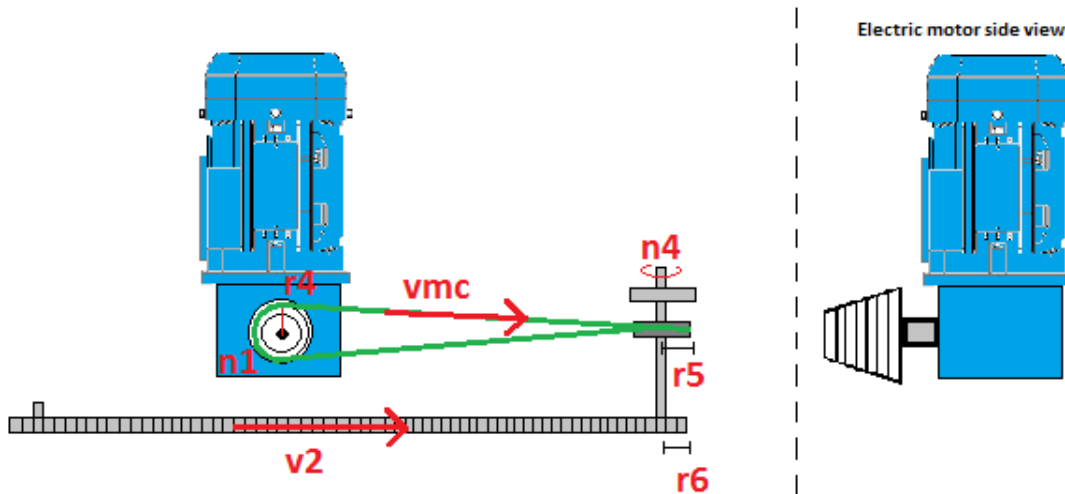
$wm=2*PI*nm/60$                       nm=rpm do motor  
y=relação de transmissão da caixa angular do motor  
 $w2=2*PI*n2/60$   
 $w1=y*wm$

Figura 57: Sistema V1

$$v1=(r3*(w1*r1))/r2$$

Figura 58: Equação da velocidade V1

❑ Sistema Velocidade dos Espalhadores (V2)



Legenda:

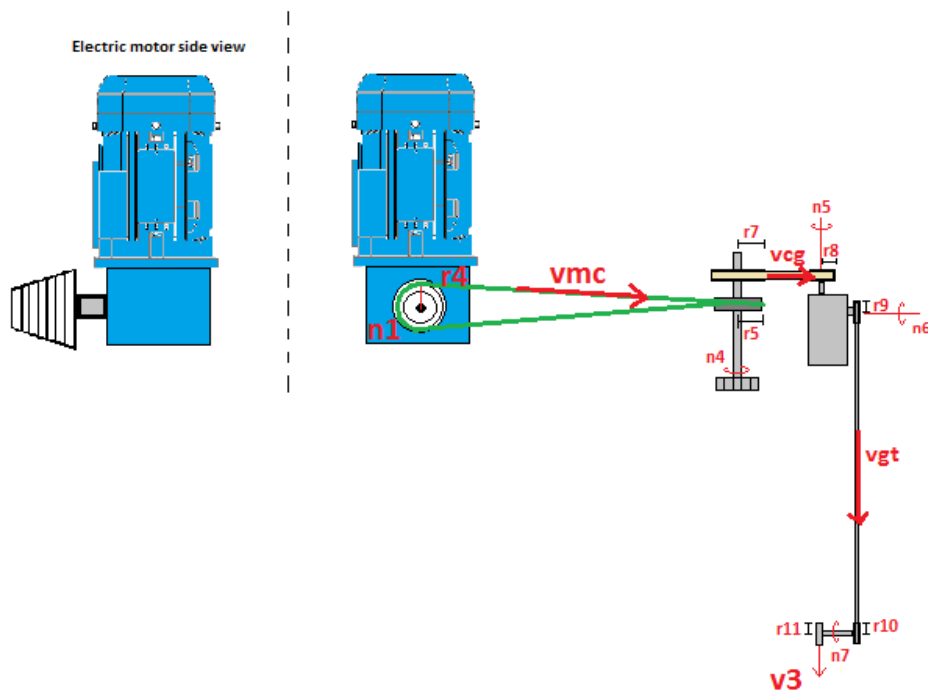
- r4= raio do cone
- n1= rpm do eixo da polia do motor após a caixa angular
- vmc= velocidade linear do circuito motor - transmissão central
- r5= raio da polia central que recebe a velocidade do motor
- n4 = rpm do eixo central
- r6= raio da roda dentada que faz mover os espalhadores
- v2= velocidade linear dos espalhadores
- $w1=2*\pi*n1/60$
- $wm=2*\pi*nm/60$                       nm=rpm do motor
- y=relação de transmissão da caixa angular do motor
- $w4=2*\pi*n4/60$
- $w1=y*wm$

Figura 59: Sistema V2

$$v2=(r6*(w1*r4))/r5$$

Figura 60: Equação da velocidade V2

## ❑ Sistema Velocidade do Tabuleiro (V3)



### Legenda:

r4= raio do cone

n1= rpm do eixo da polia do motor após a caixa angular

vmc= velocidade linear do circuito motor - transmissão central

r5= raio da polia central que recebe a velocidade do motor

n4 = rpm do eixo central

r7= raio da polia que transmite movimento à caixa angular do tabuleiro

vcg=velocidade linear da correia central-caixa angular (gear box)

r8= raio da polia de entrada da caixa angular

n5=rpm da polia de entrada da caixa angular

r9=raio da roda dentada de saída da caixa angular

n6=rpm da roda dentada de saída da caixa angular

x=relação de transmissão da caixa angular do tabuleiro

vgt=velocidade linear da corrente que começa na caixa angular e acaba no tabuleiro

r10=raio da roda dentada antes da do tabuleiro

n7=rpm do eixo do tabuleiro

r11=raio da roda dentada do tabuleiro

v3= velocidade linear do tabuleiro

$$w1=2*\pi*n1/60$$

$$w_m=2*\pi*n_m/60 \quad n_m=\text{rpm do motor}$$

y=relação de transmissão da caixa angular do motor

$$w4=2*\pi*n4/60$$

$$w5=2*\pi*n5$$

$$w6=2*\pi*n6$$

$$w7=2*\pi*n7$$

$$w1=y*w_m$$

Figura 61: Sistema V3

$$v3=(r11*r9*x*r7*w1*r4)/(r10*r8*r5)$$

Figura 62: Equação da velocidade V3

Com estas definições conclui-se o passo 2.

- **Passo 3: Definir as condições que constituem o fenómeno**

Nesta fase, as observações e estudos anteriores levaram à teoria que as velocidades, principalmente, é que faziam o bom ou mau espalhamento. A afirmação anterior não é suficiente para aferir essa hipótese, pelo que necessário experienciar isso para demonstrar que a relação de velocidade é realmente a grande responsável pelo defeito [41]. Com isto, e também por conselho do método da consultora, decidiu realizar um Desenho de Experiências (DOE).

Como o tempo era um factor muito importante, como a equipa estava um pouco atrasada no prazo que dispunha para o fecho da mesma, ou seja para a resolução do problema, e como o essencial da análise P-M foi definido nos passos 1 e 2, foi adoptada uma forma mais prática de encarar a metodologia, também pelo conselho do director da empresa. Esta forma consistia em não se guiar exaustivamente por cada passo, mas sim deixar os resultados do DOE aferirem o que fazer. Isto é, fazer os passos 3, 4 e 5 de uma vez, porque, em parte, o DOE estava a definir ou a reencaminhar a equipa para as condições óptimas e isso é perceptível mais à frente no presente trabalho.

Então a equipa focou-se no DOE.

- **5.2.1.1 DOE – Palha Torta**

O método que vai ser seguido na apresentação deste DOE é o que foi falado no capítulo anterior. Vão ser seguidos os 7 passos [36]:

- 1) Definição do projecto**

Em termos do objectivo deste desenho de experiências, pretende-se a melhoria do espalhamento na máquina Z-Folder, o que, como sabido, está implícito ao problema da palha torta. Então, com isto, pretende-se reduzir o defeito por palha torta, e melhorar assim a performance da empresa para com os seus clientes e princípios.

## **2) Seleccionar a resposta (output - y)**

A resposta a estudar é o número de palhas tortas numa amostra de 1000 palhinhas retiradas no fundo de cada caixa estudada no desenho de experiências. Optou-se na diminuição da amostra de 4000 ao longo da caixa, para 1000 na zona crítica, ou seja, no fundo da caixa, que era onde existe maior probabilidade do defeito. Esta diminuição da amostra também tomou lugar para a contagem dos defeitos ser mais fácil e prática de contabilizar, que segundo Yang [36] também é importante.

## **3) Escolher os factores ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), níveis e os seus intervalos**

Como o espalhamento na caixa de acomodação depende, segundo os estudos feitos, em grande parte das 3 velocidades, escolheram-se os factores velocidade dos rolos (V1), velocidade dos espalhadores (V2) e velocidade do tabuleiro (V3). São factores contínuos como se pode constatar.

Note-se que as velocidades apesar de serem dependentes de um só motor eléctrico, podem ser alteradas independentemente por vias mecânicas (por polias e rodas dentadas) ou com a introdução de sistemas auxiliares. Isso foi feito e vai ser referido mais à frente no decorrer da descrição deste método.

Em relação aos níveis, como os prazos são curtos, foi escolhido a realização do estudo apenas com dois níveis em cada factor. O nível normal de funcionamento e um nível extremo superior ao nível normal.

Para o intervalo dos níveis foi tido em conta o motor da Z-Folder e o seu variador, pelo que antes de se escolher o valor extremo, este foi testado pela equipa para averiguar se o mesmo conseguiria aumentar bastante consistentemente, o que foi comprovado. Então decidiu-se colocar os valores extremos das 3 velocidades base com um aumento de 25%. Não foi escolhida diminuição das velocidades para níveis extremos inferiores, porque como existe já uma velocidade normal bastante baixa (V3), baixando ainda mais a mesma iria fazer com que o sistema da mesma velocidade trabalhasse aos solavancos.

Para o desenho de experiências fez-se duas réplicas para cada experiência.

Então, com a resposta e os factores definidos, na figura seguinte é exposto o modelo do processo deste DOE.

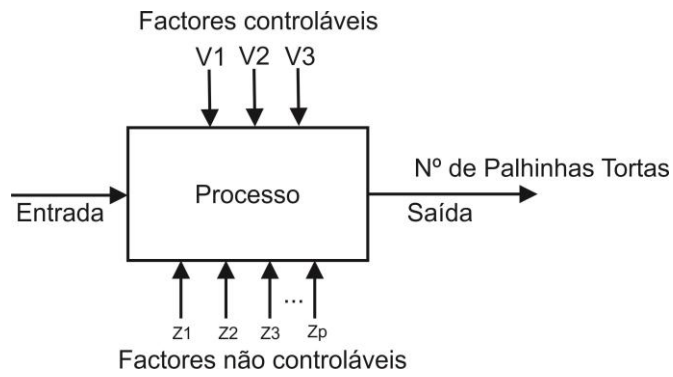


Figura 63: Modelo do processo de acomodação utilizado no DOE

De seguida também são referidos os níveis utilizados na prática, por meio de uma tabela e de um esquema geométrico para melhor percepção:

Tabela 14: Níveis das variáveis do DOE

Factores	Valor Normal		Valor Extremo	
V1	75	RPM	100	RPM
V2	39	RPM	52	RPM
V3	12	RPM	16	RPM

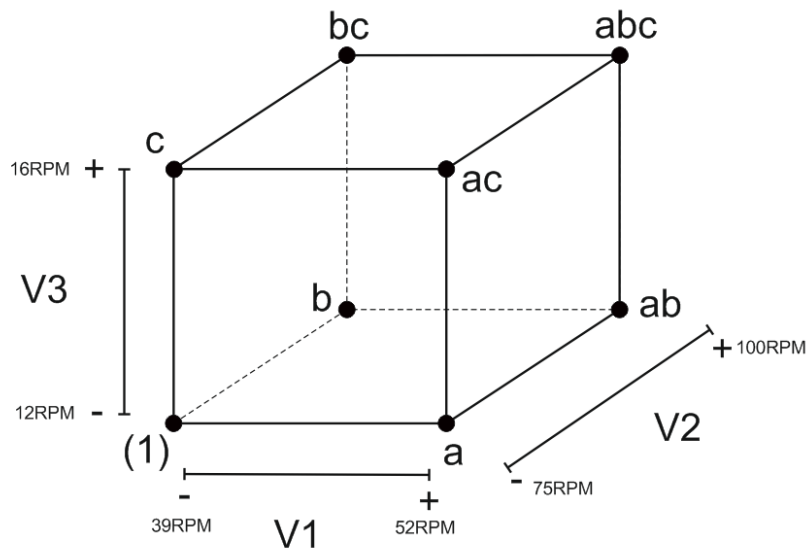


Figura 64: Modelo geométrico do DOE de 3 factores a 2 níveis aplicado a esta equipa - adaptado [41]

#### 4) Seleccionar o qual o tipo de experiência

O tipo de experiência que vai ser descrita é factorial completa com três factores a dois níveis, com 2 réplicas. Portanto uma experiência factorial completa  $2^3$ .

#### 5) Realizar a experiência

Com as premissas anteriores descritas, realizou-se a experiência em si. Mas antes, para se poder alterar independentemente cada velocidade no decorrer das experiências, como havia a limitação de as mesmas estarem delimitadas pela dependência de um único motor, a equipa arranhou forma de alterá-las individualmente com componentes mecânicos.

##### ➤ Alteração da velocidade dos rolos

A alteração desta velocidade foi feita com a introdução de uma polia de diâmetro superior no sistema – velocidade dos rolos. Isto é, o sistema tinha uma polia ( $r_1$ ) de diâmetro inferior para a velocidade normal e foi projectada uma de diâmetro superior para a velocidade extrema (nível superior). Então, no DOE, quando se pretende a velocidade V1 normal, utiliza-se a polia menor e se se pretende atingir o nível superior, utiliza-se a polia superior, isto porque a velocidade está dependente do raio.

Projectou-se uma polia (figura 64) com o auxílio da equação criada no passo 2.7 da análise P-M, que depois na prática funcionou correctamente, o que é um ponto positivo e que prova que a equação está correcta.

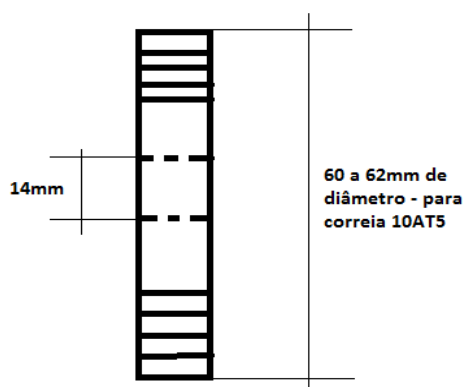
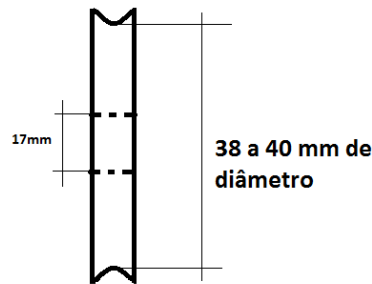


Figura 65: Polia para variar o nível de V1 – desenho facultado ao fornecedor para fabricar a polia para o DOE

➤ Alteração da velocidade dos espalhadores

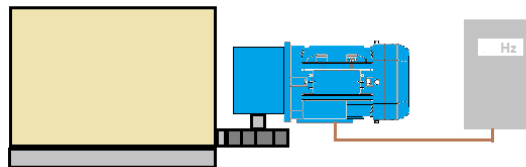
A alteração desta velocidade V2 também foi feita por meio da introdução de uma polia no sistema, mas desta vez com uma de diâmetro inferior, devido à relação de velocidades. O processo de sua projecção (obter o diâmetro certo) também foi feito com base na equação concebida no passo 2.7 da análise P-M.



**Figura 66: Polia para variar o nível de V2 – desenho proporcionado ao fornecedor para fabricar a polia para o DOE**

➤ Independência da velocidade do tabuleiro

Por fim, a alteração desta velocidade V3, foi feita com a independência do sistema desta velocidade. Isto é, foi colocado um motor auxiliar exclusivamente para a velocidade do tabuleiro e para controlar a velocidade do motor instalou-se também um variador de frequência. Apesar de parecer de difícil instalação, foi, talvez, a forma mais prática de alterar a velocidade, uma vez que basta rodar um dispositivo no variador para obter qualquer velocidade, obviamente numa gama limite de valores nos quais os níveis deste factor estavam inseridos.



**Figura 67: Representação do sistema que faz a velocidade V3 funcionar de forma independente no DOE**

Com a identificação dos mecanismos de variação dos factores e seus níveis, é agora apresentada a matriz de planeamento factorial:

**Tabela 15: Matriz do planeamento factorial – DOE**

		A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	(1)	-	-	-	+	+	+	-
2	a	+	-	-	-	-	+	+
3	b	-	+	-	-	+	-	+
4	ab	+	+	-	+	-	-	-
5	c	-	-	+	+	-	-	+
6	ac	+	-	+	-	+	-	-
7	bc	-	+	+	-	-	+	-
8	abc	+	+	+	+	+	+	+

A função da matriz anterior já foi explicada no capítulo anterior.

Deve-se só salientar que, na tabela 15, apenas as colunas “A”, “B” e “C” são experimentáveis. As colunas à direita de “A”, “B” e “C”, são as interações e são úteis apenas para a análise dos resultados.

Após tudo isto, foi feita a experiência em si, em que se obteve as seguintes respostas:

**Tabela 16: Respostas dos DOE (R1 e R2) e Soma das linhas**




	R1	R2	Soma
(1)	3	5	8
a	42	39	81
b	150	143	293
ab	36	38	74
c	40	46	86
ac	63	57	120
bc	91	95	186
abc	58	54	112





Note-se que esta matriz das respostas por norma fica ao lado da matriz de análise do problema para uma melhor visualização.

Na tabela que se segue (tabela 17), é exposta uma comparação visual do espalhamento entre as oito experiências deste DOE. Esta comparação da frase anterior

também sustenta as respostas da tabela 16, pela ligação do mau espalhamento com o fenómeno da palha torta como se tem vindo a referir.

**Tabela 17: Espalhamento das experiências do DOE - Vista lateral**

Experiência	Distinção	Espalhamento	R1	R2
1	(1)		3	5
2	a		42	39
3	b		150	143

4	ab		36	38
5	c		40	46
6	ac		63	57
7	bc		91	95

8	abc		58	54
---	-----	--	----	----

## 6) Analisar os resultados

É nesta fase que se passa a analisar a resposta do DOE em si, e o procedimento da mesma até obter a tabela ANOVA, que vai ser feito de acordo com Yang [36], como teoricamente foi definido no capítulo anterior. Então segue-se 5 passos.

Nas alíneas de cálculos, apenas vai ser dado o exemplo de cálculo do factor A, porque o cálculo dos outros factores e iterações é análogo.

### ▪ 6.0 – Preparação

Esta alínea já foi estabelecida com a apresentação da tabela da matriz de análise do problema (tabela 15), no passo anterior – passo 5.

### ▪ 6.1 – Cálculo dos Contrastos

Segue-se o cálculo dos contrastes. Vai ser dado o exemplo do cálculo do contraste de A, como se tinha referido anteriormente.

Os valores de somatórios são o resultado da soma das linhas das respostas deste DOE (podem ser vistos na tabela 16).

$$\begin{aligned} \text{ContrasteA} &= -(1) + a - b + ab - c + ac - bc + abc \\ &= -8 + 81 - 293 + 74 - 86 + 120 - 186 + 112 = -186 \end{aligned}$$

▪ **6.2 – Cálculo dos Efeitos**

Depois dos contrastes segue-se o efeito de A:

$$A = \frac{\text{ContrasteA}}{\frac{N * n}{2}} = \frac{-186}{\frac{8 * 2}{2}} = -23.25$$

▪ **6.3 – Cálculo da Soma dos Quadrados**

Por fim segue-se o cálculo das somas dos quadrados:

$$SSA = \frac{\text{ContrasteA}^2}{N * x} = \frac{-186^2}{8 * 2} = 2162.25$$

É apresentada então a tabela com os resultados dos cálculos anteriormente descritos, para todos os factores e interações:

**Tabela 18: Tabela dos Contrastos, Efeitos, Soma dos Quadrados e Somatórios para o DOE - Palha torta**

	SUM +	SUM -	Contraste	Efeito	SS
A	387	573	-186	-23,2500	2162,25
B	665	295	370	46,2500	8556,25
AB	280	680	-400	-50	10000
C	504	456	48	6	144
AC	533	427	106	13,2500	702,25
BC	387	573	-186	-23,2500	2162,25
ABC	572	388	184	23	2116

Para a construção da tabela de Análise de Variância falta o cálculo da soma dos quadrados total e o erro da mesma soma:

$$\text{Soma dos Quadrados Total} = SST$$

$$= \sum_{f=1}^2 \sum_{g=1}^{k \text{ factores}} \sum_{h=1}^{n \text{ repetições}} y_{fgh}^2 - \frac{(y \dots)^2}{N * n}$$

$$= (3^2 + \dots + 54^2) - \frac{(3 + \dots + 54)^2}{8 * 2} = 25928$$

$$\text{Erro} = SSE$$

$$= SST - SSA - SSB - SSC - SSAB - SSAC - SSBC - SSABC$$

$$= 25928 - 2162.25 - 8556.25 - 10000 - 144 - 702.25 - 2162.25 - 2116 = 85$$

▪ **6.4 – Construção da tabela ANOVA**

Com os cálculos obtidos, foi-se construir a tabela ANOVA, com a inclusão da coluna das percentagens (%):

**Tabela 19: Tabela ANOVA do DOE - Palha torta**

	SS	%	v	MS	F0
A	2162,25	8,34	1	2162,25	203,5059
B	8556,25	33,00	1	8556,25	805,2941
AB	10000	38,57	1	10000	941,1765
C	144	0,56	1	144	13,55294
AC	702,25	2,71	1	702,25	66,09412
BC	2162,25	8,34	1	2162,25	203,5059
ABC	2116	8,16	1	2116	199,1529
ERRO	85	0,33	8	10,625	
Total	25928	100			

f0.05,1,8= 5,32

Os cálculos por detrás da anterior tabela são todos descritos no capítulo anterior, como tem sido referido.

Para terminar a extracção da informação da análise falta apenas referir como se retirou o factor crítico F0----5%,v1,v2= F0<sub>0.05, 1, 8</sub> da tabela da distribuição de Fisher-Snedecor (tabela 20).

**Tabela 20: Distribuição Fisher-Snedecor – Aplicado a DOE – Palha torta [36]**

\* 0.05,ν<sub>1</sub>,ν<sub>2</sub>

ν <sub>2</sub> \ ν <sub>1</sub>	Degrees of Freedom for the Numerator (ν <sub>1</sub> )												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	
2	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	
4	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	
5	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	
6	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	
7	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	
8	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	
9	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	
10	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	
11	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	
12	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	
13	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	
14	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	
15	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	
16	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	
17	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	
18	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	
19	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	
20	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	
21	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	
22	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	
23	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	

A extracção do valor crítico é bastante simples, basta ir à tabela de probabilidade de erro de 5% (usual nesta distribuição) e cruzar os graus de liberdade dos factores (numerador) com os do erro (denominador) – 8. Com isto sai o valor 5.32 que é o valor crítico ao qual se os valores de F0 testados forem superiores são significativos.

Assim, analisando os resultados:

**Tabela 21: Factores significantes e percentagens**

	F0	%
A	203,51	8,34
B	805,29	33,00
AB	941,18	38,57
C	13,55	0,56
AC	66,09	2,71
BC	203,51	8,34
ABC	199,15	8,16
ERRO		0,33

$$f_{0.05,1,8} = 5,32$$

Como é possível observar na tabela anterior todos os factores e interacções, na coluna “F0”, são superiores a 5.32 (F crítico). Isto quer dizer que todos os factores são significativos e que as velocidades e a relação entre as mesmas são o que mais faz variar o espalhamento e por sua vez a criação da palha torta.

Relativamente também à tabela anterior, na coluna da percentagem (“%”), é possível retirar que o factor B e a interacção AB são as que mais influenciam a resposta e que o factor C é o que menos afecta a mesma.

É crucial então uma relação óptima principalmente entre A e B, mas também com C, porque todos os factores influenciam a resposta significativamente, mas obviamente uns mais que outros.

## 7) Tirar conclusões e recomendações

Com este Desenho de Experiências, extraiu-se e comprovou-se que as velocidades são os elementos chave para um espalhamento com ou sem palha torta, uma vez que é necessário obter uma relação óptima entre as três. Esta relação óptima, pela análise das respostas na tabela seguinte (apresentada anteriormente), depois de

obviamente ver as significâncias dos factores e interacções, é perto da relação “(1)”, isto é, perto da relação em que os níveis dos 3 factores estão nos valores baixos/normais.

**Tabela 22: Respostas do DOE (R1 e R2)**

	R1	R2
(1)	3	5
a	42	39
b	150	143
ab	36	38
c	40	46
ac	63	57
bc	91	95
abc	58	54

É possível verificar que os resultados são consistentes e que são bastante positivos para a continuação da melhoria do produto, pelo que devem ser aceites.

Extrai-se também, e em comprovação do que foi referido no parágrafo anterior, e também visualizado na prática na máquina Z-Folder, que o espalhamento é tanto melhor quanto menor for a velocidade geral do motor, o que vai abrandar as 3 velocidades. Isto devido a não haver tantos impulsos/ esticões do filme que faz com que o mesmo não tenha comportamentos não aceitáveis como ondas e inversões depois do tempo, etc., e que no caso de as velocidades estarem superiores isso acontecia.

Com a comprovação do DOE do que já era sabido, após uma série de testes e verificações e com os recursos existentes na altura, fez-se novos standards para se realizar uma melhor e mais consistente inspecção das Z-Folders, nomeadamente a medição e controlo das velocidades.

Começou-se por fazer uma Matriz QM, do mesmo estilo como falado anteriormente no tópico 5.1.3, mas agora aplicado à área das Doctor/Z-Folders e ligado ao problema da palha torta. De seguida é apresentado um excerto dessa matriz.

**Tabela 23: Excerto da Matriz de QM da Doctor/Z-Folder**

DRZ-7- Machine Frame & Covers	DRZ-7.2- Frame - Lower Section	Sustain the componets and keep the z-folder in place and rigid	Structure - With reinforcement elements.	SOP GSB-IBM-001(1.3)	C	1
DRZ-5- Straw Band Guidance	DRZ-5.1- Guide Rollers	Guide the film to the right place of spreading	Position - guidance rollers - the surface of the roller should be in contact with all straws web surface	SOP GSB-IBM-001(2.1)	C	2
DRZ-5- Straw Band Guidance	DRZ-5.2- Feed Rollers Unit	Pull the film from the doctor machine to the folders	Position - upper rollers - Distance to guarantee that, in the limit, the border of the straws web match with the border of the box; Reference=215mm (from the middle of the machine to the roller)	SOP GSB-IBM-001(2.2)	C	3
DRZ-5- Straw Band Guidance	DRZ-5.4- Folders Unit	Spread the straw film in the box	Position - folders - Folders lateral parts should not be incontact with the straws band	SOP GSB-IBM-001(2.3)	C	4
DRZ-6- Engine & Transmissions	DRZ-6.3- Folders Transmission	Transmit energy from central section to folders unit	Length - folders chain - Reference= 800mm (between chain wheels)	SOP GSB-IBM-001(3.1)	C	5
DRZ-6- Engine & Transmissions	DRZ-6.5- Transmission - Conveyor	Transmit energy from lower section to the conveyor frame	Length - conveyor chain - Reference= 500mm (between chain wheels)	SOP GSB-IBM-001(3.2)	C	6
DRZ-6- Engine & Transmissions	DRZ-6.4- Transmission to Lower Section	Transmit energy from central section to the lower section	Transmission from gear box to conveyor - Chain + Tension Wheel	SOP GSB-IBM-001(3.3)	C	7
DRZ-6- Engine & Transmissions	DRZ-6.1- Engine	Element that makes all z-folder components move properly	Straws web speed - The linear speed of the upper rollers should match the linear speed of the straws web on Doctor Machine. Reference linear speed= 0,6 - 0,65m/s	SOP GSB-IBM-001(4.1)	Q	1
DRZ-6- Engine & Transmissions	DRZ-6.1- Engine	Element that makes all z-folder components move properly	Folders speed - Reference linear speed= 0,65 - 0,70m/s	SOP GSB-IBM-001(4.2)	Q	2
DRZ-6- Engine & Transmissions	DRZ-6.1- Engine	Element that makes all z-folder components move properly	Conveyor speed - Reference Linear Speed = 0,03m/s	SOP GSB-IBM-001(4.3)	Q	3
DRZ-6- Engine & Transmissions	DRZ-6.5- Transmission - Conveyor	Transmit energy from lower section to the conveyor frame	Slot width - chain guide - Width=10mm	SOP GSB-IBM-001(5.1)	C	8

Com a matriz QM anterior definida, elaborou-se uma tabela dos pontos C e Q, e marcação dos mesmos na máquina para conhecimento de todos os colaboradores e para ser visível onde controlá-los. É possível observar na tabela 24.

**Tabela 24: Pontos C e Q da Z-Folder**

Pontos Q/C	Actividade	Especificação	OPL
C1	Estrutura - com elementos de reforço	-	-
C2	Posição dos Rolos Guia - o filme deve estar totalmente em contacto com os rolos	-	-
C3	Distância dos Feed Rollers ao centro da Z-Folder	215mm	C0808
C4	Espalhadores - o filme não deve tocar nas laterais dos espalhadores	-	-
C5	Distância entre as rodas dentadas do espalhador	800mm	C0565
C6	Distância entre as rodas dentadas do tabuleiro	500mm	C0566
C7	Transmissão da caixa redutora para o tabuleiro - corrente tensionada	-	-
C8	Verificação do estado da peça de plástico do tabuleiro	-	-
C9	Abertura da peça plástica	10mm	C0639
C10	Frequência do motor	30Hz	-
C11	Posição do potenciômetro - na zona verde	-	-
Q1	Velocidade dos Rolos	76 RPM+1	C0568
Q2	Velocidade dos Espalhadores	39-42 RPM	C0567
Q3	Velocidade do Tabuleiro	9-12 RPM	C0569
Q4	Medição da Estática	0-0,5 kV/Inch	-

A tabela dos pontos C e Q, para além da nomenclatura desses pontos, também refere a que actividade se aplicam, a especificação/ padrão a manter e que documentos existem para ensinar o operador ou mecânico a fazer a correcta verificação do ponto.

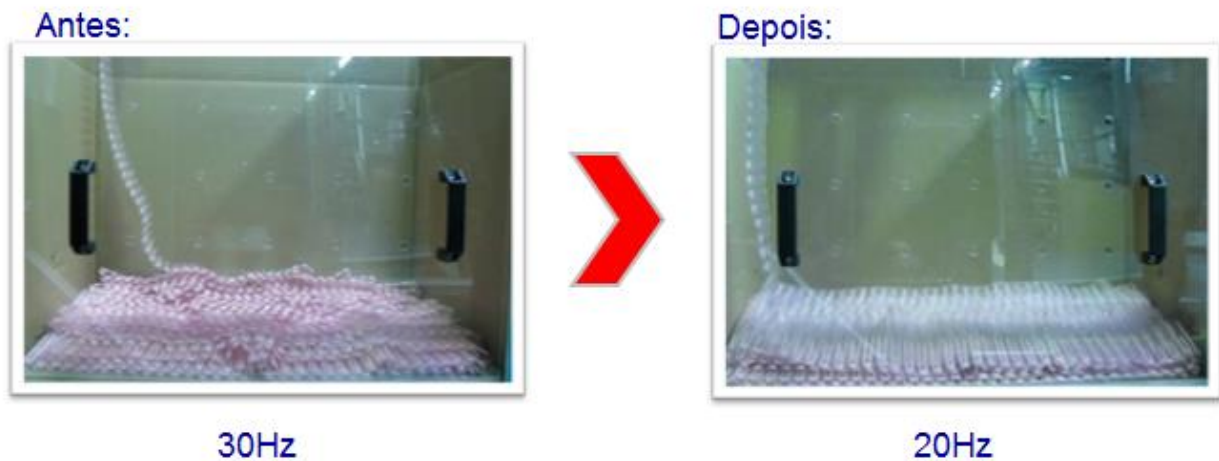
Por fim criou-se um plano de inspeções para as Doctor/ Z-Folders (tabela 25) para posteriormente a área da manutenção (PM) manter a máquina, de acordo com uma inspeção por frequência (Semanal, Mensal ou Trimestral).

**Tabela 25: Plano de Inspeções das Doctor/ Z-Folders**

#	Maq.	Componente	Actividade	OPL	Pontos Q/C	FREQUÊNCIA	Tempo (Min)	Registo
1	Doctor	Afinadores/Micro-switches	Sensibilidade dos sensores e folga	C0805	-	Semanal	30 sec.	
2	Doctor	Veio do Range Roller	Folga no rolamento ou caixa	-	-	Semanal	1 Min.	
3	Doctor	Consola do variador do motor	Verificação do valor em Hertz (30Hz)	-	C10	Mensal	2 min	
4	Doctor	Tela de soldadura	Verificação da integridade da tela	C0722	-	Semanal	30 Sec.	
5	Doctor	Potenciômetro e balanço	Verificação do posicionamento e sensibilidade*	-	C11	Mensal	3 Min.	
6	Z-F	Doctor e Z-Folder	Verificação do alinhamento entre as duas estruturas	-	-	Trimestral	2 Min.	
7	Z-F	Z-Folder (elementos de reforço da estrutura)	Folga	-	C1	Mensal	2Min.	
8	Z-F	Correias (Dentadas)	Desgaste e verificação dos dentes (passo)	-	-	Mensal	30 Sec.	
9	Z-F	Chumaceiras do veio dos feed rollers	Folga	C0809	-	Mensal	2 Min.	
10	Z-F	Feed rollers	Distancia dos Feed Rollers ao centro da Z-Folder (215mm)	C0808	C3	Mensal	1 Min.	
11	Z-F	Borrachas dos feed rollers	Condição das borrachas - desgaste (incluindo se está vidrada ou não)	C0460	-	Mensal	1 Min.	
12	Z-F	Cone	Verificação da excentricidade do cone e das ranhuras de trabalho	-	-	Mensal	30 Sec.	
13	Z-F	Correia verde	Verificação de resíduos de pó (correia vidrada)	C0631	-	Semanal	30 Sec.	
14	Z-F	Transmissão Central (veio e componentes associados)	Folga	C0579	-	Mensal	30 Sec.	
15	Z-F	Rodas dentadas do espalhador	Verificação da distância entre as rodas dentadas do espalhador (800mm)	C0565	C5	Mensal	1 Min.	
16	Z-F	Pino (peça que transmite movimento da corrente aos espalhadores)	Desgaste da peça plástica do espalhador*	-	-	Trimestral	1 Min.	
17	Z-F	Rolamentos do espalhador	Folga	-	-	Mensal	30 Sec.	
18	Z-F	Espalhadores	Verificação do posicionamento*	-	C4	Semanal	30 Sec.	
19	Z-F	Correntes do circuito do tabuleiro	Correntes laças*	-	C7	Mensal	30 Sec.	
20	Z-F	Chumaceiras de transmissão de movimento ao tabuleiro	Folga	-	-	Mensal	1 Min.	
21	Z-F	Rodas dentadas do tabuleiro	Verificação da distância entre as rodas dentadas do tabuleiro (500mm)	C0566	C6	Mensal	1 Min.	
22	Z-F	Peça de Plástico	Verificação do estado da peça de plástico do tabuleiro	-	C8	Mensal	1 Min.	
23	Z-F	Ionizadores	Limpeza/inspeção	C0639	-	Semanal	1 Min.	
24	Z-F	Ionizadores	Medição da Estática (0-0,5 kV/Inch)*	-	Q4	Semanal	30 Sec.	
25	Z-F	Feed Rollers	Velocidade dos Rolos (76 RPM+-1)	C0568	Q1	Semanal	30 Sec.	
26	Z-F	Espalhadores	Velocidade dos Espalhadores (39-42 RPM)	C0567	Q2	Semanal	30 Sec.	
27	Z-F	Tabuleiro	Velocidade do Tabuleiro (9-12 RPM)	C0569	Q3	Semanal	30 Sec.	

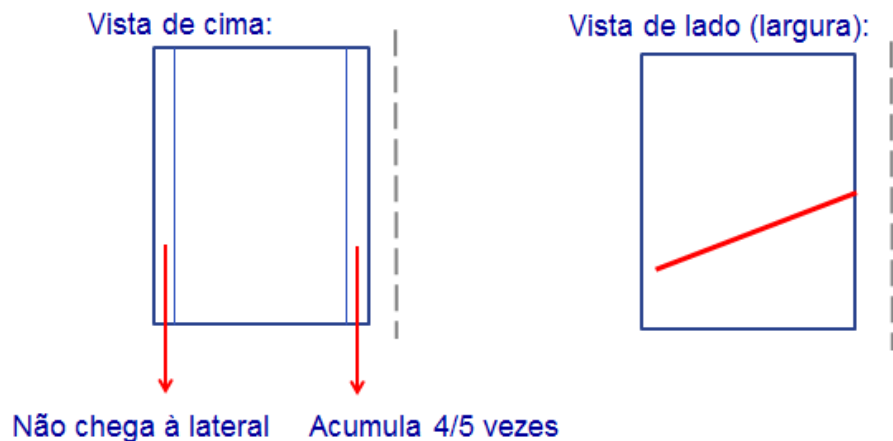
O plano de inspeções tem o número da actividade, a máquina a que se refere, o componente a observar, a actividade a verificar, os documentos de ajuda, os pontos C e Q (no caso de as actividades terem ou não), a frequência da inspeção e o tempo que demora a fazer a mesma inspeção.

Com o saber adquirido com a análise P-M, fez-se uma série de melhorias, com os recursos existentes na fábrica, numa máquina (Z-Folder) específica, para um cliente que exigia a não existência do defeito palha torta. Era então urgente uma acção consistente. Com isto começou-se por reduzir a frequência geral do motor de 30Hz para 20 Hz, que iria ter grande impacto na velocidade e por sua vez no espalhamento e no aparecimento ou não do defeito. É observável na figura 67 essa melhoria de espalhamento com a diminuição de velocidades. Esta acção eliminou as ondas do espalhamento.



**Figura 68: Melhoria: Redução da frequência do motor**

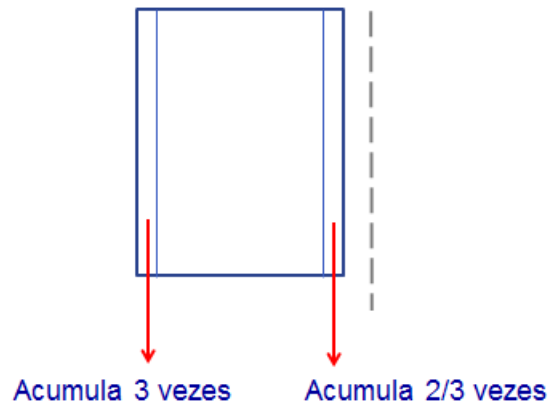
Apenas com a melhoria referida no parágrafo anterior, a máquina ainda tinha um espalhamento imperfeito, nomeadamente ainda havia acumulação excessiva de filas de palhinhas nas laterais da caixa ou então as palhinhas não atingiam as laterais o que também é mau (figura 68).



**Figura 69: Representação das vistas da caixa de acomodação - espalhamento deficiente nas laterais**

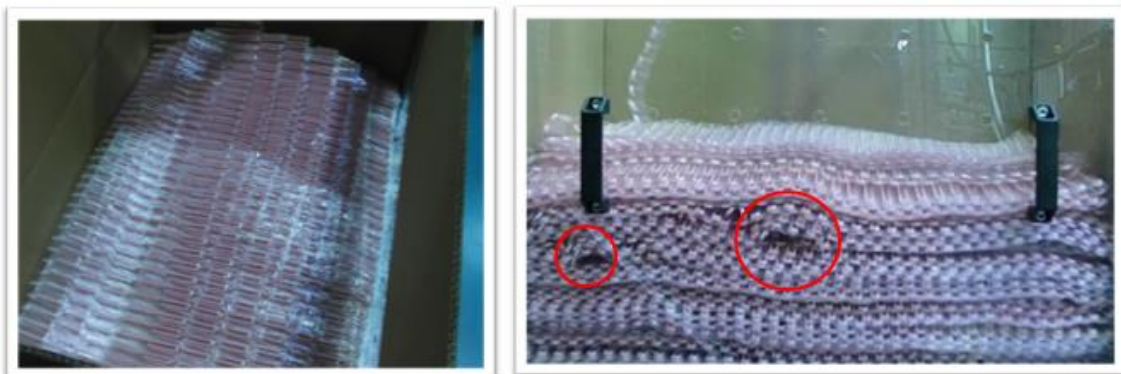
Na tentativa de resolução do problema da figura 68, modificou-se os espalhadores (componente da Z-Folder do sistema da velocidade 2 – velocidade dos espalhadores),

encurtando-os cerca de 40mm. Isto faz com que as palhinhas sejam “puxadas” mais rapidamente nas pontas da caixa o que resulta numa menor acumulação nas laterais.



**Figura 70: Representação da acumulação nas laterais da Z-Folder com os espalhadores modificados**

O espalhamento ficou a acumular cerca de 2 a 3 vezes nas laterais, nos dois lados, o que já é aceitável, mas obviamente que não é perfeito.



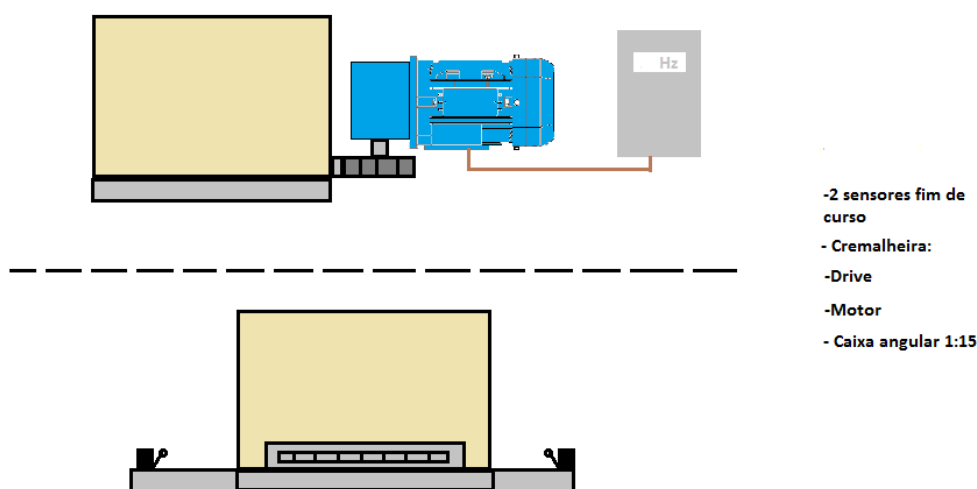
**Figura 71: Espalhamento com as duas melhorias descritas**

Até ao momento que se realizou o estágio na empresa, este (figura 70) foi o melhor espalhamento que se conseguiu. Nota-se ainda alguns vórtices (assinalados a vermelho), que são devidos a arranques da máquina. Arranques estes que resultam da paragem da máquina por defeitos ou por falta de palha. Estes arranques não eram controlados até à data, mas a sua suavidade ou não, depende também da sensibilidade do operador para fazer a máquina trabalhar de uma forma mais brusca ou mais suave (o arranque). O operador tem grande impacto no espalhamento, no sentido de ter de estar atento a

defeitos nas palhinhas e no espalhamento e periodicamente ir comprimindo as palhinhas na caixa com as mãos.

Só com uma boa harmonia entre o operador, a máquina, as suas condições e a área da manutenção é que se consegue um bom espalhamento de forma consistente.

O mecânico da equipa e o autor propuseram também uma melhoria futura (figura 71) para o funcionamento do tabuleiro (velocidade V3) fosse independente e mais consistente, com menos variações de velocidade e solavancos. A melhoria consistia num sistema independente, parecido com o utilizado no DOE, com um motor, um variador de fase, uma caixa angular, uma roda dentada, sensores de fim de curso e uma cremalheira (ao invés de uma corrente). Esta melhoria eliminava a instabilidade (variação da velocidade e os solavancos), o que no espalhamento resultava numa menor acumulação das palhinhas nas laterais, numa distância constante e consistente entre as filas de palhinhas à medida que a máquina laborava e claro resultava num espalhamento muito mais previsível, que é o pretendido.



**Figura 72: Proposta de melhoria – sistema que dá independência à velocidade do tabuleiro**

O autor não esteve na empresa até ao fecho da equipa, devido ao estágio de natureza profissional ter terminado, pelo que ficam apenas aqui descritas as actividades de melhoria em que o autor ganhou conhecimentos e experiência e onde também teve grande papel activo e que a ajuda do mesmo criou valor acrescentado, isto é, melhoria na empresa e no produto.

### 5.2.2 - Check List das Z-Folders e respectiva formação

A produção da *check list* também deriva dos resultados obtidos da equipa de *Bent Straw* - palha porta. É a renovação e melhoria de uma folha de verificações das condições básicas, aplicada à área das Doctor/Z-Folders, nomeadamente a duas máquinas da área, uma delas a máquina em que se fez a análise P-M.

A check list serve, para numa inspecção periódica, verificar se os padrões da máquina, em termos de condições se verificam. No fundo funciona como o plano de inspecções, apenas com a diferença de ser mais detalhado em algumas informações e com a finalidade de vir a ser o operador a fazer, ou seja a área da manutenção autónoma (AM).

De seguida, na figura 72, é dado a conhecer um excerto da mesma lista, que depois vai ser explicada para uma melhor percepção da função da mesma.

	Local	Condição	Ferramentas	Padrão	Padrão Verifica-se		Acção Imediata	Acção
					Sim	Não		
Z-folder	Comprimento - Corrente dos Espalhadores	Parada	Fita Métrica	800 mm			Etiqueta	Restabelecer medida.
	Comprimento - Corrente do Tabuleiro	Parada	Fita Métrica	500 mm			Etiqueta	Restabelecer medida.
	Peça guia de plástico	Parada/ Funcionamento	Fita Métrica	10 mm. Que não cause solavancos ao movimento do tabuleiro.			Etiqueta	Substituir peça. Ajustar de acordo com o padrão.
	Posição - Rolos Superiores	Parada	Fita Métrica	215mm. Sem empenos e sem inclinação.			Etiqueta	Restabelecer medida. Veio paralelo ao chão.
	Posição - Rolos Guia	Parada	Visual	O filme deve estar completamente coincidente com os rolos (na marcação).			Etiqueta	Ajustar de acordo com o padrão.
	Posição - Espalhadores	Parada	Visual	A parte lateral dos espalhadores não deve estar em contacto com o filme (na marcação).			Etiqueta	Ajustar de acordo com o padrão.
	Velocidade do Motor	Parada	Visual	30 Hz			Etiqueta	Restabelecer medida.

Figura 73: Excerto da *check list* de verificação de condições básicas

Em forma de elucidação da figura anterior, na coluna “Local”, estão os componentes/ sistemas a serem verificados nesta lista; na “Condição” é necessário, para a medição/ verificação das condições, que a Z-Folder esteja parada ou em funcionamento; na coluna “Ferramentas”, apresenta-se que utensílio é necessário para efectuar a medição, em muitos é apenas necessária a visão; na coluna “Padrão”, como o próprio nome indica, apresenta o padrão a manter, ou seja, a medida/ condição que deve estar para

funcionar correctamente; em “Padrão Verifica-se”, pretende-se, que após a inspecção de cada componente, se coloque um “X” em “Sim” ou “Não”, conforme se o padrão se verifique ou não; em “Acção Imediata”, pretende-se a quem detectar algum padrão não verificado, abrir imediatamente uma etiqueta para haver o conhecimento que deve ser feita uma acção breve futura e por fim na coluna “Acção”, se houver um padrão que não se verifique, o que a manutenção (PM) tem de fazer para voltar a restabelecer o padrão.

Após a produção da lista fazer a lista de verificação e após algumas sugestões dos membros da equipa do *Bent Straw*, a lista foi aprovada. Após isto, formou-se os mecânicos da empresa na verificação das condições básicas, das máquinas referidas, com o auxílio da mesma *check list* descrita. Note-se que após a formação os colaboradores assinam uma folha a dizer que foram formados neste procedimento, que serve de prova e serve de experiência.

A inspecção com a referida *check list* começou a ser feita primeiramente pela área da manutenção planeada (PM), ou seja pelos mecânicos, devido à dificuldade exigida na medição das velocidades e outras que requer alguma expertise, mas tem no futuro a finalidade de vir a ser o operador da máquina a fazê-la (AM).

Em suma deste tópico, estas listas de verificação das condições básicas fazem com que o funcionamento da máquina seja muito mais controlado e por sua vez consistente. Controlo este que faz com que a detecção de condições fora de padrão da máquina seja muito mais rápida e objectiva, e isto reduz a probabilidade de passar produto defeituoso para a caixa e reduz também a probabilidade de formar produto defeituoso na caixa, no caso da palha torta devido ao mau espalhamento.

### **5.2.3 - OPL Inspeção da resistência do filme de palhinhas**

No decorrer do ano passado, foi feita uma reclamação à empresa, vinda de um cliente de uma companhia de mercado, que descrevia que em algumas partes dos lotes do produto da empresa, o filme de palhinhas era pouco resistente, partia com facilidade ao ser puxado na aplicação nas embalagens de bebidas. Com isto, houve uma análise interna na empresa para constatar que a reclamação era legítima, e comprovou-se que estava correcta, por vezes o filme partia com facilidade ao ser puxado manualmente, apenas

num tipo de palha específico. A empresa tomou as devidas providências, tendo atenção também às temperaturas das máquinas na área de *forming* e ao fazer o empalme.

Outra precaução pretendida pela empresa para ter a certeza que o filme, após as modificações e ajustes no processo, estava resistente era a criação de uma inspeção à resistência do mesmo. Para isto era necessário ter um documento para descrever como fazer essa inspeção. Então produziu-se uma folha de explicação de como se fazia a inspeção da resistência do filme, chamada de OPL – *One-Point Lesson*.

De seguida, na figura 73, é exibido um excerto dessa OPL e respectiva explicação.

	Fábrica: Portugal	OPL - One Point Lesson	Área: C
Nº	Inspeção da resistência do filme de palhas		Máquina: Doctor Machine - XX
			Peça: Filme de palhas
Conhecimento Básico	Solução de Problema <input checked="" type="checkbox"/>	Melhoria	Data: 04-set-14
Proposta por: Pedro Barbosa		Realizada por: Daniel Santos	Aprovada por:
<p>1- ONDE: Na Doctor Machine, depois de passar na secção dos rolos (range roller).</p> <p>2 - ESTADO DO EQUIPAMENTO: Parado.</p> <p>3 - TEMPO DE REALIZAÇÃO: 5 minutos.</p> <p>4 – FREQUÊNCIA: No início de cada turno ou em cada nova ordem.</p> <p>5 –MATERIAL NECESSÁRIO: Tesoura, fita métrica e filme de palhas.</p> <p>6 –RESPONSÁVEL: Operador</p> <p>7 - COMO PROCEDER: Depois de o filme passar pelo range roller da Doctor Machine, cortar aproximadamente 3 metros do filme de palhas. Depois disto, ir traccionando o filme ao longo dos 3 metros, sem o flectir ou torcer. O traccionamento deve ser feito com as mãos à largura dos ombros. Com isto, averiguar se o filme parte ou não, e em caso de partir com grande facilidade, alertar o chefe de turno ou a manutenção. Registrar na folha de controlo.</p> <p>8 – APÓS O TESTE: Fazer o empalme das extremidades do filme não testado e continuar o processo produtivo.</p>			

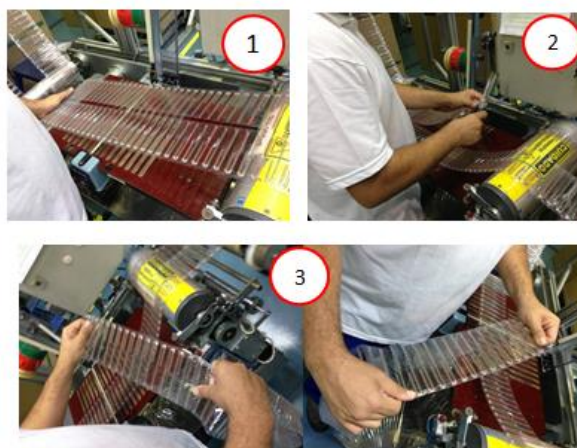


Figura 74: Excerto da OPL - Inspeção da resistência do filme

Na figura anterior, existe muita informação mas ao mesmo tempo perceptível e simples, que é como deve ser neste tipo documento. Primeiro, no ponto 1, tem-se o local onde se faz inspeção, que é numa zona específica da Doctor Machine; segue-se, no ponto 2, o estado do equipamento na altura do teste, neste caso parado; no ponto 3, o tempo de realização do teste, 5 minutos; no ponto 4 a frequência: no início de cada turno ou nova ordem de produção; no quinto ponto o material necessário: tesoura, fita métrica e claro o filme de palhinhas; no sexto, quem é o responsável - o operador da máquina; no sétimo o procedimento de inspeção em si e por ultimo, no oitavo, o que se deve fazer após o teste.

O procedimento resume-se a parar a máquina; cortar aproximadamente 3 metros de filme de palhinhas; traccionar o filme ao longo dos 3 metros (sem flectir nem torcer o mesmo); averiguar se o filme parte ou não com facilidade; se partir com facilidade, alertar o chefe de turno ou a manutenção (PM); registar na folha de controlo; fazer o empalme das extremidades do filme não testado e continuar o processo produtivo. Note-se que para traccionar o filme, as mãos devem estar à largura dos ombros. No lado direito da mesma figura existem 3 imagens que de alguma forma descrevem o procedimento de uma forma mais compreensível para o operador/ leitor.

A tracção do filme pode parecer um pouco subjectiva porque existem diversos operadores e nem todos aplicam a mesma força. Apesar disto, os operadores têm anos de experiência e já sabem ver, novamente por experiência, se o filme parte com muita facilidade ou não.

#### **5.2.4 - Melhoraria do processo satisfazendo os requisitos de um cliente em específico – aquisição de candeeiros com lupa**

Neste tópico, pretende-se mostrar como uma simples exigência do cliente pode fazer mudar o processo e melhorá-lo.

De uma forma resumida um cliente, exigiu à empresa que se a mesma quisesse produzir para este, teria de cumprir as suas exigências. Estas últimas foram levantadas com uma espécie de auditoria prévia à empresa. Uma dessas exigências foi a aquisição de candeeiros com lupa para os postos de controlo de qualidade dentro da área de *forming* na fábrica. Tratou-se então de escolher e encomendar os candeeiros com lupa a partir do mercado nacional.

Com este simples gesto da introdução destes aparelhos no processo, o controlo de qualidade melhorou bastante, pelo facto de que este dispositivo ser uma excelente ajuda para ver pequenos defeitos, que se não fossem ampliados eram de difícil percepção.

Apesar deste gesto ser uma pequena mudança na empresa, pode implicar muito e pode fazer a diferença entre a empresa ser competitiva ou não, e é aqui que se distinguem as grandes empresas. As empresas têm de ser dinâmicas e estarem abertas a melhorias, só assim se conseguem novos clientes e clientes satisfeitos, com uma produção de qualidade e também só assim se consegue fazer evoluir a cultura de qualidade dentro da própria empresa.

## 6 – Conclusões

Numa forma de análise global das melhorias feitas ao produto, é de referir que as melhorias obtidas na empresa com este estágio foram bastante marcantes na mesma organização. Sejam as melhorias grandes ou pequenas, o seu resultado é muito positivo, uma vez que simples e pequenas mudanças nos dias de hoje são um avanço bastante grande, porque, o processo tende a estar tão otimizado (para as condições que existem) que ligeiras alterações na forma de pensar e registar medições são uma vantagem importante.

As melhorias no processo e no produto obtidas, para além de trazerem qualidade acrescida e eliminação de perdas relativas ao referido, foram mais uma forma de percepção de como o processo e seus mecanismos funcionam (focando-se mais na equipa *Bent Straw*). Só assim com estas análises minuciosas se consegue perceber como a condição do produto e dos sistemas varia e se comporta, o que no futuro, em casos semelhantes os colaboradores já sabem o que fazer, como proceder. Isto é melhoria contínua, é inovação.

Com este estágio, houve a oportunidade de conciliar o que foi aprendido no curso, ligando a teoria à prática e assim foi ganha uma experiência bastante importante e decerto crucial para após o curso procurar um primeiro emprego na área, na via profissional. A Tetra Pak Tubex Portugal foi uma boa escola, não só por estar na vanguarda de uma metodologia de renome recente em Portugal (Manutenção Produtiva Total) em que o foi uma honra de ter aprendido e experienciado todos os pilares da mesma, observado o seu funcionamento, ver resultados na prática no dia-a-dia, entre outros, mas também pela forma receptiva dos seus colaboradores, pela camaradagem, simpatia, protecção, entre outros adjectivos positivos que os seus colaboradores e em especial o orientador na empresa fizeram transmitir.

Este trabalho, para além de demonstrar as melhorias obtidas neste tipo de processo e metodologia, é um bom exemplo da aplicação de ferramentas da qualidade, nomeadamente o DOE, uma vez que se vê resultados positivos dessas metodologias na vida real.

O autor pensa que cumpriu de uma forma positiva os objectivos, por tudo o que tem vindo a ser mencionado no decorrer do trabalho e pelo que foi alcançado com o estágio de natureza profissional.

## Referências Bibliográficas

- [1] “Tetra Pak - Resumo,” [Online]. Available: <http://www.tetrapak.com/pt/about/tetra-pak-in-brief>. [Acedido em Maio 2015].
- [2] “Tetra Pak - História,” [Online]. Available: <http://www.tetrapak.com/pt/about/history>. [Acedido em Maio 2015].
- [3] “Tetra Pak - Valores,” [Online]. Available: <http://www.tetrapak.com/pt/about/core-values>. [Acedido em Maio 2015].
- [4] “Tetra Pak - Visão e missão,” [Online]. Available: <http://www.tetrapak.com/pt/about/vision-and-mission>. [Acedido em Maio 2015].
- [5] “Tetra Pak - Factory of the Year 2014,” Fevereiro 2015. [Online]. Available: <http://www.tetrapak.com/pt/about/newsarchive/unidade-portuguesa-da-tetra-pak-eleita-fbrica-do-ano->. [Acedido em Abril 2015].
- [6] “Tetra Pak - Palhinhas,” [Online]. Available: <http://edit.tetrapak.com/pt/embalagens/palhinhas>. [Acedido em Maio 2015].
- [7] *Documentos Tetra Pak Tubex Portugal*.
- [8] J. M. Jura e A. B. Godfrey, *Juran's Quality Handbook - Fifth Edition*, McGraw-Hill, 1992.
- [9] N. S. António e A. Teixeira, *Gestão da Qualidade - de Deming ao Modelo de Excelência da EFQM*, Lisboa: Edições Sílado, 2007.
- [10] A. P. Kedar, R. R. Lakhe, V. S. Deshpande, P. V. Washimkar e M. V. Wakhare, “A comparative review of TQM, TPM and related organisational performance improvement programs,” *First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology - IEEE Computer Society*, pp. 725-730, 2008.
- [11] J. P. Womack, D. T. Jones e D. Roos, *The machine that changed the world*, E.U.A.: Free Press, 1990.
- [12] D. A. d. J. Pacheco, “Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração,” *Production*, pp. 940-956, 2014.
- [13] R. Andersson, H. Eriksson e H. Torstensson, “Similarities and differences between TQM, six sigma and lean,” *The TQM Magazine*, vol. 18, pp. 283-296, 2006.
- [14] M. L. Stamm, N. T. R. e D. P. K. Singh, “TQM, TPM, TOC, Lean and Six Sigma - Evolution of manufacturing methodologies under the paradigm shift from Taylorism/Fordism to Toyotism?,” em *16th International Annual EurOMA Conference*, Gothenburg, Suécia, 2009.

- [15] D. Averill, *Lean Sustainability - Creating Safe, Enduring, and Profitable Operations*, CRC Press, 2011.
- [16] F.-K. Wang e W. Lee, "Learning curve analysis in total productive maintenance," *Omega - The international Journal of Management Science*, vol. 29, pp. 491-499, 2001.
- [17] P. Roghanian, A. Rasli, M. Kazemi e H. Gheysari, "Productivity Tools: TPM and TQM," *International Journal of Fundamental Psychology & Social Sciences*, vol. 2, pp. 65-69, 2012.
- [18] K. Park e S. Han, "TPM - Total Productive Maintenance: Impact on Competiveness and a Framework for Successful Implementation," *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, vol. 11, pp. 312-338, 2001.
- [19] J.-H. Thun, "Maintaining preventive maintenance and maintenance prevention: analysing the dynamic implications of Total Productive Maintenance," *System Dynamics Review*, vol. 22, pp. 163-179, 2006.
- [20] R. Singh, A. M. Gohil, D. B. Shah e S. Desai, "Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study," *Chemical, Civil and Mechanical Engineering Tracks of 3rd Nirma University International Conference on Engineering*, pp. 592-599, 2013.
- [21] "LeanProduction.com," [Online]. Available: <http://www.leanproduction.com/tpm.html>. [Acedido em Setembro 2015].
- [22] M. C. Thomsett, *Getting Started in Six Sigma*, E-U-A-: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [23] K. Magnusson e D. Kroslid, *Six Sigma The Pragmatic Approach*, Studentlitteratur, 2003.
- [24] S. H. Park, *Six Sigma for Quality and Productivity Promotion*, Tokyo: Asian Productivity Organization, 2003.
- [25] B. Klefsjö e U. Hellsten, "TQM as a management system consisting of values, techniques and tools," *The TQM Magazine*, vol. 12, n.º 4, pp. 238-244, 2000.
- [26] R. N. Mefford, "Quality and Productivity: the linkage," *International Journal of Production Economics*, pp. 137-145, 1991.
- [27] T. Pyzdek e P. Keller, *The Handbook for Quality Management - a complete guide to operational excellence*, 2ª edição, McGraw Hill, 2013.
- [28] K. E. McKone e E. N. Weiss, "TPM: Planned and autonomous maintenance: bridging the gap between practice and research," *Production and Operations Management*, vol. 7, n.º 4, pp. 335-351, 1998.
- [29] P. Arunagiri e A. Gnanavelbabu, "Identification of High Impact Lean Production Tools in Automobile Industries using Weighted Average Method," *12th Global Congress on*

*Manufacturing and Management, GCMM 2014*, pp. 2072-2080, 2014.

- [30] M. Jiménez, L. Romero, M. Domínguez e M. Espinosa, “5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school,” *Safety Science*, vol. 78, pp. 163-172, 2015.
- [31] A. Chiarini, “Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 85, pp. 226-233, 2014.
- [32] F. Chan, H. Lau, R. Ip, H. Chan e S. Kong, “Implementation of total productive maintenance: A case study,” *International journal of production economics*, vol. 95, pp. 71-94, 2005.
- [33] H. Shari, N. Khalid, N. Ashaarii, Judi e H., “Statistical Process Control in Plastic Packaging Manufacturing: A Case Study,” *Internation Conference on Electrical Engineering and Informatics*, pp. 199-203, 2009.
- [34] P. John, *Statistical Methods on Engineering and Quality Assurance*, John Wiley & Sons, 1990.
- [35] K. Shirose, Y. Kimura e M. Kaneda, *P-M Analysis - An Advanced Step in TPM Implementation*, Nova Iorque: CRC Press, 2012.
- [36] K. Yang e B. El-Haik, *Design for Six Sigma - A Roadmap for Product Development*, McGraw-Hill, 2003.
- [37] A. Cohen, T. Tiplica e K. Abdessamad, “Design of experiments and statistical process control using wavelets analysis,” *Control Engineering Practice*, 2015.
- [38] P. Goos e B. Jones, *Optimal Design of Experiments - A Case Study Approach*, John Wiley & Sons, 2011.
- [39] T. Pyzdek, *The Six Sigma Project Planner - A Step-by-Step Guide to Leading a Six Sigma Project Through DMAIC*, McGraw Hill, 2003.
- [40] R. Budynas e J. Nisbett, *Elementos de Máquinas de Shigley - Projecto de Engenharia Mecânica*, McGraw-Hill, 2011.
- [41] D. Montgomery, *Design an Analysis of Experiments - Eighth Edition*, John Wiley & Sons, Inc., 2013.



**Anexo 1 – Certificado Oferecido pela TPTP na Colaboração  
em Promover a Empresa ao Prémio: *Factory of the Year 2014***



Figura 75: Certificado de colaboração na ajuda de promoção da empresa TPTP ao prémio: *Factory of the Year 2014*

## **Anexo 2 – Tabela da Distribuição de Fisher-Snedecor**

Tabela 26: Distribuição de Fisher-Snedecor [41]

\* 0.05,  $\nu_1, \nu_2$

		Degrees of Freedom for the Numerator ( $\nu_1$ )																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
Degrees of Freedom for the Denominator ( $\nu_2$ )	1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
	2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
	3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
	10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
	14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
	17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
	19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
	20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
	22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
	23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
	24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
	26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
	27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
	28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
	29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
	30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.44	1.38	1.30	
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.26	1.18	

**Anexo 3 – Folha de Registo do Desperdício Material na  
Extrusão**



**Anexo 4 – Folha de Registo do Desperdício Temporal na  
Extrusão**

WCM		REGISTO DIÁRIO DE OCORRENCIAS E PASSAGEM DE TURNO				Nº OPERADOR:			TURNO:		DATA:	
EXT. Nº	Palha	PRODUÇÃO (Impulsos)	Cod	Hora Inicio	Hora Fim	Cod.	Hora Inicio	Hora Fim	Cod	Hora Inicio	Hora Fim	
E238	100X4											
E236	165X4											
E234	165X5											
E240	165X4											
E230	160X4											
E226	145X4											
E244	180X5											
OBSERVAÇÕES:												
.....												
.....												
.....												
<b>Codigos de Avarias</b>												
<b>1000</b>	Meal Brake / Paragens para Refeição					<b>2800</b>	Cleaning / Limpeza					
<b>1200</b>	Set Up / Mudança de côr, Comprimento, Diâmetro					<b>2800</b>	Planned Maintenance / Manutenção Planeada					
<b>1300</b>	Start After Set Up / Arranque após Set Up					<b>2900</b>	Lack of Orders / Falta de Ordens					
<b>1700</b>	Legal Restrictions / Restrições Legais					<b>3000</b>	Education / Formação					
<b>2100</b>	Repair / Avarias					<b>3100</b>	Force Majeure / Força Maior					
<b>2301</b>	Lack of resources / Falta de Recursos / Materias Primas					<b>5000</b>	Planned Production Adjustment / Ajuste de produção					
<b>2302</b>	Lack of resources / Falta de Recursos / Operador					<b>5200</b>	Planned Project / Projecto Planeado					
<b>2500</b>	Waiting Approval / Aguardando Aprovação					<b>6000</b>	Rework / Retrabalho					
<b>2600</b>	Adjustment / Pequenas Paragens					<b>7100</b>	Bottleneck / Paragem por linha de UM's incompleta					

Figura 77: Folha de Registo do Desperdício Temporal na Extrusão

## **Anexo 5 – Tabelas dinâmicas – exemplo prático**

Tabela 27: Exemplo de aplicação das Pivot Tables – Dados Iniciais.

Revisão do Sistema:

Referência	Dia	Mês	Ano	Objecto	Responsável
1	2	Jan	1992	Motor	Rui
2	3	Jan	1993	Motor	Pedro
3	5	Jan	1994	Motor	Carlos
4	3	Jan	1995	Motor	João
5	7	Jan	1996	Motor	Daniel
6	8	Jan	1997	Motor	Bernardo
7	6	Jan	1998	Motor	Ricardo
8	4	Jan	1999	Motor	Rúben
9	9	Jan	2000	Motor	Bruno
10	8	Jan	2001	Motor	Bernardo
11	5	Jan	2002	Motor	João
12	3	Jan	2003	Motor	Vitor
13	1	Jan	2004	Motor	Pedro
14	4	Jan	2005	Motor	Daniel
15	6	Jan	2006	Motor	Daniel
16	2	Jan	2007	Motor	Daniel

Na tabela 27 são apresentados os dados iniciais de uma dada revisão de um sistema, neste caso um motor.

Agora, como exemplo, pretende-se apenas apresentar quantas vezes cada responsável fez a revisão, então aí seria útil a utilização das tabelas dinâmicas. Então, no Excel, clica-se em “tabela dinâmica”, no menu “inserir” (depois de se seleccionar a tabela dos dados) e então o Excel cria uma nova folha com a tabela, em que fica a restar dizer o que se pretende apresentar.

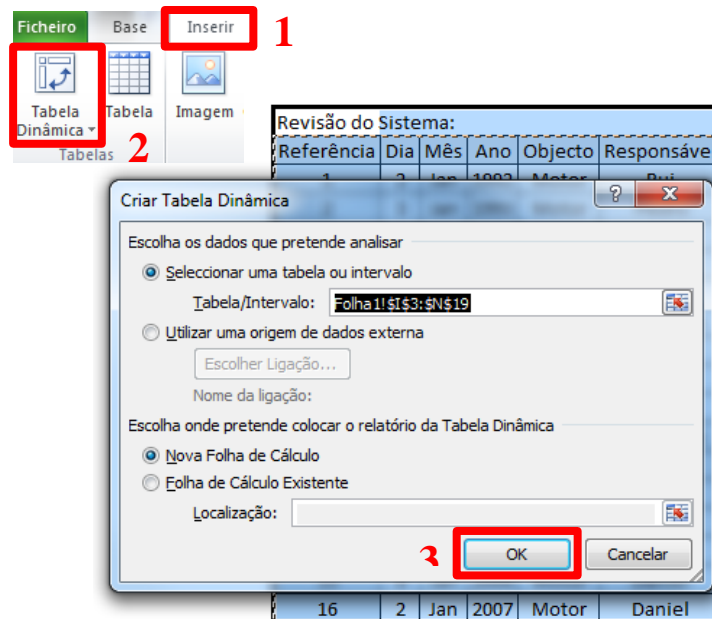
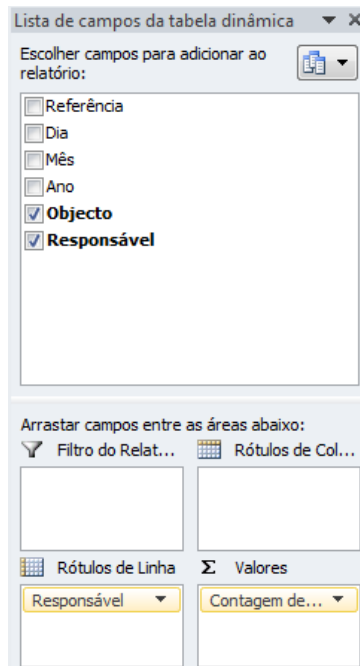


Figura 78: Criação da Pivot Table para o exemplo de explicação.



**Figura 79:** Filtro para aparecer apenas o responsável e o número de vezes que realizou a revisão.

Após a filtragem (figura 78) obtém-se a tabela dinâmica do objectivo que era pretendido, visível na Tabela 28.

**Tabela 28:** Pivot Table do exemplo de explicação.

Rótulos de Linha	Contagem de Objecto
Bernardo	4
Bruno	1
Carlos	1
Daniel	2
João	2
Pedro	2
Ricardo	1
Rúben	1
Rui	1
Vitor	1
<b>Total Geral</b>	<b>16</b>