



João Paulo Estrela Nabeiro

Implementação da manutenção produtiva total no setor de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço

Dissertação em Engenharia e Gestão Industrial

Julho/2015



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Implementação da manutenção produtiva total no setor de estiragem de uma empresa de produção de perfis de aço

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Autor

João Paulo Estrela Nabeiro

Orientador

Professor Doutor Pedro Mariano Simões Neto

Co-orientadores

Engenheiro Nélio Ricardo Sebastião Mourato

Engenheiro José António Gonçalves dos Santos

Júri

Presidente	Professor Doutor Cristóvão Silva Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Vogais	Professora Doutora Irene Sofia Carvalho Ferreira Professora Adjunta do Instituto Politécnico de Leiria
	Professor Doutor Pedro Mariano Simões Neto Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional

 **Bölinghaus Steel, S.A.**

Coimbra, Julho, 2015

“Para melhorar temos de mudar;
Para sermos perfeitos temos de estar em constante mudança.”

Hartwig Härtel
Presidente do conselho de administração
da Böllinghaus Steel S.A.

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Ao Professor Doutor Pedro Neto, pela disponibilidade demonstrada ao longo de todo o projeto.

Ao Engenheiro Nélio Mourato e ao Engenheiro José Santos por todo o apoio e conhecimentos transmitidos, bem como toda a informação disponibilizada desde o primeiro dia.

A todos os colaboradores da Böllinghaus, pela simpatia demonstrada ao longo destes meses e por me fazerem sentir parte integrante da empresa.

Ao meu avô e à minha mãe, por todo o apoio e motivação transmitidos, essenciais nesta etapa.

Ao meu pai que, apesar da distância, não deixou de expressar a sua força e confiança.

Um agradecimento especial à Diana, por me fazer ver que o primeiro passo para conseguir é acreditar que somos capazes.

Por fim, um agradecimento a todos aqueles que não referi mas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Resumo

Dada a crescente complexidade das máquinas e processos produtivos que se tem vindo a verificar nos últimos anos, tornam-se cada vez mais dispendiosas as paragens de produção, devido a avarias dos mais diversos componentes. Neste sentido, as empresas procuram desenvolver sistemas de gestão de manutenção que permitam reduzir não só o número de paragens do processo, como também a duração de cada paragem e, consequentemente, todos os custos associados.

A TPM (Total Productive Maintenance) é uma filosofia cada vez mais aplicada no mundo empresarial para gerir esta temática, apresentando resultados bastante positivos.

Contanto também com inúmeros casos de sucesso, a metodologia DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve, Control) apresenta-se como uma das melhores ferramentas de abordagem de problemas ao nível dos processos produtivos, focando-se na melhoria contínua.

A presente dissertação tem como foco principal a implementação da TPM no setor de estiragem da Böllinghaus Steel S.A., empresa que se dedica à produção de perfis de aço. Para isso, recorrer-se-á à metodologia DMAIC como forma de orientação de todo o processo.

Palavras-chave: TPM, OEE, Seis Sigma, DMAIC, Manutenção, Fiabilidade, Melhoria contínua, Böllinghaus Steel S.A..

Abstract

Due to the increasing complexity of machines and productive processes has been observed in recent years, production stoppages caused by failures of various components become more and more expensive. In order to solve that problem, companies are increasing the search for new maintenance management systems to reduce not only the number of stops of the process, as well as the duration of each stop and consequently all the associated costs.

The TPM (Total Productive Maintenance) is a philosophy increasingly applied in the business world to manage this issue, with very positive results.

Proved also with many success stories, the DMAIC methodology (Define, Measure, Analyse, Improve, Control) is presented as one of the best tools to approach problems in production processes, focusing on continuous improvement.

This work is mainly focused on TPM implementation in cold drawing sector of Böllinghaus Steel S.A., a company dedicated to the production of steel profiles. To do this, it will be made using the DMAIC methodology for guidance of all the process.

Keywords TPM, OEE, Six Sigma, DMAIC, Maintenance, Reliability, Continuous improvement, Böllinghaus Steel S.A..

ÍNDICE

Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xv
Siglas	xvii
1. Introdução	1
1.1. Estrutura da dissertação	1
1.2. Apresentação da empresa	2
1.2.1. História da empresa	2
1.2.2. Produtos	3
1.2.3. Qualidades	3
1.3. Caso de estudo	3
2. Enquadramento teórico	5
2.1. TPM	5
2.1.1. Partes envolvidas na TPM	7
2.1.2. Seis Grandes Perdas	8
2.1.3. Manutenção Autónoma	8
2.1.4. <i>Overall Equipment Efficiency</i> (OEE)	8
2.1.5. Implementação da TPM	9
2.1.6. Sistema de produção da Toyota (TPS)	9
2.1.7. Resultados esperados com a TPM	10
2.2. Seis Sigma	11
2.2.1. DMAIC	12
2.3. 5S's	13
2.4. Fiabilidade	15
2.4.1. Indicadores de manutenção	15
2.4.1.1. Taxa de avarias	15
2.4.1.2. MTBF	15
2.4.1.3. MTTF	16
2.4.1.4. MTTR	16
2.4.1.5. MWT	16
3. Fase Definir	17
3.1. Definição da equipa	17
3.2. Descrição do setor de estiragem	17
3.2.1. Layout do setor de estiragem	17
3.2.2. Jateamento	18
3.2.2.1. Mapa do processo de jatear	20
3.2.2.2. SIPOC	20
3.3. Definição do problema	22

4.	Fase Medir.....	23
4.1.	Medição de tempos.....	23
4.1.1.	Processo de jateamento.....	23
4.1.2.	Tempos de paragem do transportador.....	24
4.2.	Capacidade produtiva do equipamento de jatear.....	24
4.3.	OEE do equipamento de jatear.....	25
4.4.	Produção real do equipamento de jatear.....	27
4.5.	Custos do equipamento de jatear.....	28
4.6.	Nível Sigma.....	28
5.	Fase Analisar.....	29
5.1.	Taxa de ocupação dos equipamentos.....	29
5.2.	Diagrama de Ishikawa.....	30
5.3.	Gráfico de Pareto.....	30
5.4.	Análise FMEA.....	31
5.5.	Indicadores de fiabilidade.....	32
5.6.	Impacto da granalha.....	32
5.7.	Análise de vibrações dos motores.....	34
5.8.	Diagrama Spaghetti.....	34
5.9.	Pontos críticos.....	35
6.	Fase Melhorar.....	37
6.1.	Brainstorming.....	37
6.2.	Melhorias propostas.....	38
6.2.1.	Melhorias focalizadas.....	38
6.2.1.1.	Colocação de acrílico no elevador de canecos.....	38
6.2.1.2.	Identificação de avarias.....	38
6.2.1.3.	Alteração do botão de emergência.....	38
6.2.1.4.	Envolvimento dos colaboradores.....	39
6.2.1.5.	Eliminação de fugas de granalha.....	39
6.2.2.	Manutenção planeada.....	40
6.2.2.1.	Lista de operações a realizar.....	40
6.2.3.	Manutenção autónoma.....	40
6.2.3.1.	Instruções de manutenção.....	40
6.2.3.2.	Ferramentas para pequenas reparações.....	41
6.2.3.3.	Normalização das chapas interiores.....	41
6.2.4.	Gestão inicial do equipamento.....	41
6.2.4.1.	Motor do sem-fim.....	41
6.2.5.	Manutenção para a qualidade.....	42
6.2.5.1.	Nova mesa de carga.....	42
6.2.5.2.	Braços de descarga do jato.....	42
6.2.6.	Gestão administrativa.....	43
6.2.6.1.	Histórico de avarias.....	43
6.2.7.	Ambiente e segurança.....	43

6.2.7.1.	Nova bancada de trabalho	43
6.2.7.2.	Saída dos atados do jato	44
6.2.8.	Formação e treino	44
6.2.8.1.	Análise granulométrica à granalha	44
6.2.8.2.	Análise de vibrações dos motores	44
6.2.8.3.	Manutenções de 1º nível	45
6.2.9.	Outras melhorias	45
6.2.9.1.	Manual do colaborador	45
6.2.10.	Custos e tempos de retorno	45
6.3.	Resultados obtidos	46
6.3.1.	OEE	46
6.3.2.	MTTR + MWT	46
6.3.3.	Nível sigma	47
6.3.4.	Custo da granalha	47
6.3.5.	Custo das peças de substituição	47
6.3.6.	Tempo médio de paragem do transportador	47
6.3.7.	Síntese dos resultados	48
7.	Fase Controlar	49
7.1.	Evolução da produção	50
8.	Conclusões	51
	Referências bibliográficas	53
	APÊNDICE A - PLANO DO PROJETO	55
	APÊNDICE B – ANÁLISE FMEA DO JATO	57
	APÊNDICE C – RELATÓRIO A3	59
	APÊNDICE D – INSTRUÇÕES DE MANUTENÇÃO	61
	APÊNDICE E – MANUAL DO COLABORADOR	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Divisão de tempos antes e depois da implementação da TPM	1
Figura 1.2. Cronograma da Böllinghaus Steel S.A.	2
Figura 1.3. Exemplos de perfis produzidos pela empresa (Böllinghaus Steel, 2011)	3
Figura 1.4. Gráfico de qualidades de aço do mês de Março de 2015	3
Figura 1.5. Fluxograma geral de produção da Böllinghaus	4
Figura 2.1. Estrutura da TPM	5
Engenheiros Figura 2.2. Partes envolvidas na TPM.....	7
Figura 2.3. Eliminação do que não é necessário no posto de trabalho (BP Biocombustíveis, 2012).....	13
Figura 2.4. Shadow Board (Dave Barry Plastics).....	14
Figura 2.5. Cumprimento de regras e procedimentos (Farias, 2011)	14
Figura 2.6. Atividades de manutenção corretiva (Assis, 2014).....	16
Figura 3.1. <i>Layout</i> do setor de estiragem da Böllinghaus	18
Figura 3.2. Barras antes e depois da passagem pela máquina de jatear	19
Figura 3.3. Foto e esquema de funcionamento do equipamento de jatear.....	19
Figura 3.4. Mapa do processo de jatear da Böllinghaus	20
Figura 3.5. Diagrama SIPOC do equipamento de jatear	21
Figura 4.1. Gráfico de análise de tempos	26
Figura 4.2. Gráfico da produção real do jato	27
Figura 4.3. Gráfico de custos.....	28
Figura 5.1. Diagrama de Ishikawa das paragens não planeadas do jato	30
Figura 5.2. Gráfico de Pareto das paragens causadas por avarias no jato	31
Figura 5.3. Influência da forma e do tamanho de grão da granalha no desgaste dos componentes do jato	33
Figura 5.4. Granalha Chronittal S40 (esquerda) e Grittal GM50 (direita)	33
Figura 5.5. Diagrama Spaghetti do jato	34
Figura 6.1. Matriz importância vs. custo	37
Figura 6.2. Aplicação de acrílico no elevador de canecos.....	38
Figura 6.3. Identificação de avarias	38
Figura 6.4. Alteração do botão de emergência do jato	38

Figura 6.5. Folha para sugestões de melhoria	39
Figura 6.6. Borrachas da porta do jato	39
Figura 6.7. Tubo da turbina nº 1 do jato.....	39
Figura 6.8. Lista de operações a realizar nas paragens planeadas.....	40
Figura 6.9. Alteração do motor do sem-fim e valores de vibrações respetivas.....	41
Figura 6.10. Mesa de carga do jato com plataformas elevatórias	42
Figura 6.11. Braços de descarga do jato.....	42
Figura 6.12. Pedido de intervenção (esquerda) e receção dos pedidos na manutenção (direita).....	43
Figura 6.13. Nova bacada de trabalho.....	43
Figura 6.14. Rebocador para o carro de transporte dos atados	44
Figura 6.15. Medidor de vibrações.....	44
Figura 7.1. <i>Checklist</i> de limpezas semanais da estiragem.....	49
Figura 7.2. Gráfico da evolução da produção do jato	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Valores OEE Classe Mundial	9
Tabela 2.2. Regras do sistema de produção da Toyota	10
Tabela 2.3. Níveis sigma (Buthmann, 2012) (Terry)	11
Tabela 2.4. Elementos da equipa responsável pelo seis sigma (Norte, 2011).....	12
Tabela 3.1. Equipa seis sigma	17
Tabela 3.2. Legenda do <i>layout</i> do setor de estiragem da Böllinghaus	18
Tabela 3.3. Definição dos objetivos a atingir	22
Tabela 4.1. Tempos médios do processo de jateamento.....	23
Tabela 4.2. Tempos de paragem do transportador.....	24
Tabela 4.3. Capacidade produtiva do jato	25
Tabela 4.4. Valores para cálculo do OEE.....	25
Tabela 4.5. Indicadores OEE.....	26
Tabela 4.6. Cálculo OEE	26
Tabela 4.7. Dados estatísticos da produção mensal real (últimos 15 meses)	27
Tabela 5.1. Taxa de ocupação dos equipamentos da Böllinghaus em Março de 2015	29
Tabela 5.2. Indicadores para a análise FMEA (Gupta, et al., 2012)	31
Tabela 5.3. Indicadores de fiabilidade.....	32
Tabela 5.4. Características da granalha utilizada no processo de jatear.....	33
Tabela 5.5. Valores resultantes da análise de vibrações dos motores do jato	34
Tabela 5.6. Deslocamentos do material no jateamento	35
Tabela 6.1. Resultados da sessão de brainstorming.....	37
Tabela 6.2. Custos e tempos de retorno das melhorias propostas	45
Tabela 6.3. Valores para recálculo do OEE.....	46
Tabela 6.4. Cálculo OEE	46
Tabela 6.5. Tempos de reparação dos 30 dias analisados	46
Tabela 6.6. Custo da granalha num período de 30 dias.....	47
Tabela 6.7. Resultados atingidos com o projeto.....	48
Tabela 7.1. Novas velocidades de passagem no jato	50

SIGLAS

DMAIC – Define, Measure, Analyse, Improve, Control

DPMO – Defeitos Por Milhão de Oportunidades

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis

IM – Instrução de Manutenção

IT – Instrução de Trabalho

MP – Matéria-Prima

MTBF – Mean Time Between Failures

MTTF – Mean Time To Failure

MTTR – Mean Time To Repair

MWT – Mean Waiting Time

NPR – Número de prioridade de risco

OEE – Overall Equipment Efficiency

SIPOC – Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Costumers

TA – Trem Aberto

TC – Trem Contínuo

TPM – Total Productive Maintenance

TT – Tratamento Térmico

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos principais pontos de preocupação das empresas são as paragens de produção devidas a avarias dos equipamentos, uma vez que é essencial cumprir os prazos de entrega acordados com os clientes. Estas paragens são cada vez mais dispendiosas devido à crescente complexidade das máquinas e processos produtivos.

Para fazer face a este problema, os gestores têm procurado desenvolver sistemas de manutenção que reduzam o número e a duração deste tipo de paragens, bem como os custos associados. Uma das filosofias adotadas neste contexto é a TPM (Total Productive Maintenance) cujo objetivo, segundo Freitas (2009), consiste na melhoria da estrutura da empresa em termos materiais (máquinas, equipamentos, ferramentas, matéria-prima, produtos, etc.) e em termos humanos (melhoria das competências pessoais envolvendo conhecimento, habilidades e atitudes).

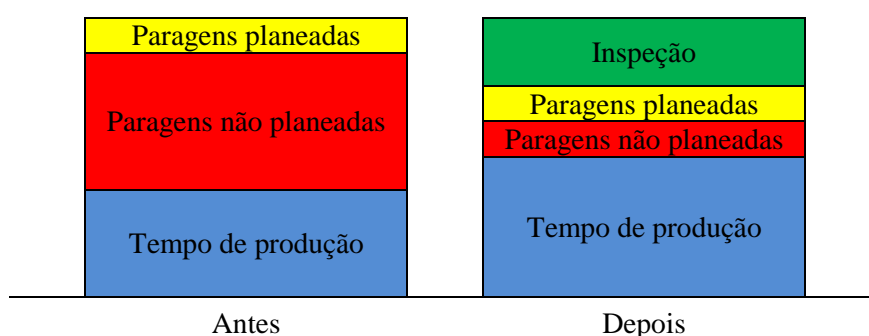


Figura 1.1. Divisão de tempos antes e depois da implementação da TPM

1.1. Estrutura da dissertação

Neste capítulo introdutório é feita uma primeira abordagem à empresa, ao seu processo produtivo e ao caso de estudo.

No capítulo 2 será feito um enquadramento teórico.

Nos capítulos seguintes será desenvolvida a metodologia DMAIC, sendo que cada um deles corresponderá a uma das fases (definir, medir, analisar, melhorar e controlar).

Por fim, no capítulo 8 serão apresentadas as conclusões da dissertação.

1.2. Apresentação da empresa

1.2.1. História da empresa

A empresa Böllinghaus Steel S.A., iniciou a sua atividade de produção de aço no ano de 1889 em Remscheid, Alemanha, tendo sido fundada por Hermann Böllinghaus e Johann Ludwig Härtel.

Em 2001, a unidade de produção de Remscheid foi encerrada, permanecendo apenas em operação a unidade instalada em Portugal. Na Figura 1.2 pode ver-se o cronograma da empresa.

Atualmente, a empresa conta com um universo de cerca de 250 colaboradores e atingiu, no ano de 2014 um volume de negócios no valor de 43 000 000€.



Figura 1.2. Cronograma da Böllinghaus Steel S.A.

1.2.2. Produtos

Os perfis produzidos pela empresa dividem-se em quatro tipos: quadrados, retangulares, hexagonais e especiais (Figura 1.3) todos eles nas mais variadas dimensões, podendo ser laminados a quente ou calibrados a frio (estirados).

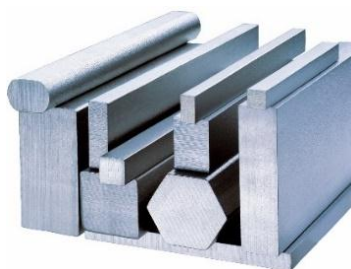


Figura 1.3. Exemplos de perfis produzidos pela empresa (Böllinghaus Steel, 2011)

1.2.3. Qualidades

Os aços utilizados na produção dos perfis podem ser de várias qualidades (grades). Na Figura 1.4 é apresentado um gráfico que representa essa variabilidade.

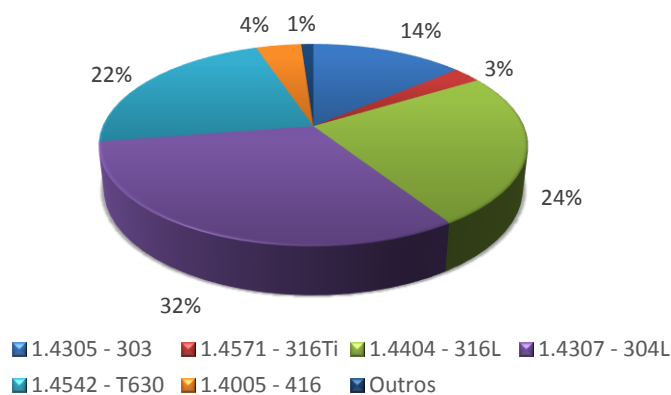


Figura 1.4. Gráfico de qualidades de aço do mês de Março de 2015

1.3. Caso de estudo

O presente caso de estudo tem como foco principal a implementação da TPM no setor de estiragem da Böllinghaus Steel S.A. Fruto da sua elevada flexibilidade (produz cerca de 700 perfis) e do seu plano de crescimento, encontra-se atualmente numa fase de expansão que inclui o aumento da área de produção, a aquisição de novos equipamentos e a redefinição do *layout*. O setor da estiragem é o que está a ser alvo de maiores alterações, devido à aquisição de uma nova máquina de estiragem de barras de aço.

Na Figura 1.5 estão representados os percursos que os vários perfis podem seguir aquando do seu processamento. Fazendo uma análise do fluxograma, pode concluir-se que a estiragem é um setor fundamental no processo, sendo um dos que acrescenta mais valor ao produto final. Deste setor faz ainda parte a decapagem mecânica, que consiste no jateamento das barras com granalha de aço. Este processo foi introduzido inicialmente apenas como forma de preparação dos perfis para a estiragem porém, atualmente, a grande maioria deles são jateados para adquirirem um acabamento superficial mais uniforme.

O percurso a laranja identificado na Figura 1.5 entrou em desuso em Maio do presente ano, começando todas as barras decapadas quimicamente a passar também pela decapagem mecânica, resultando num aumento de carga de trabalho para esta última.

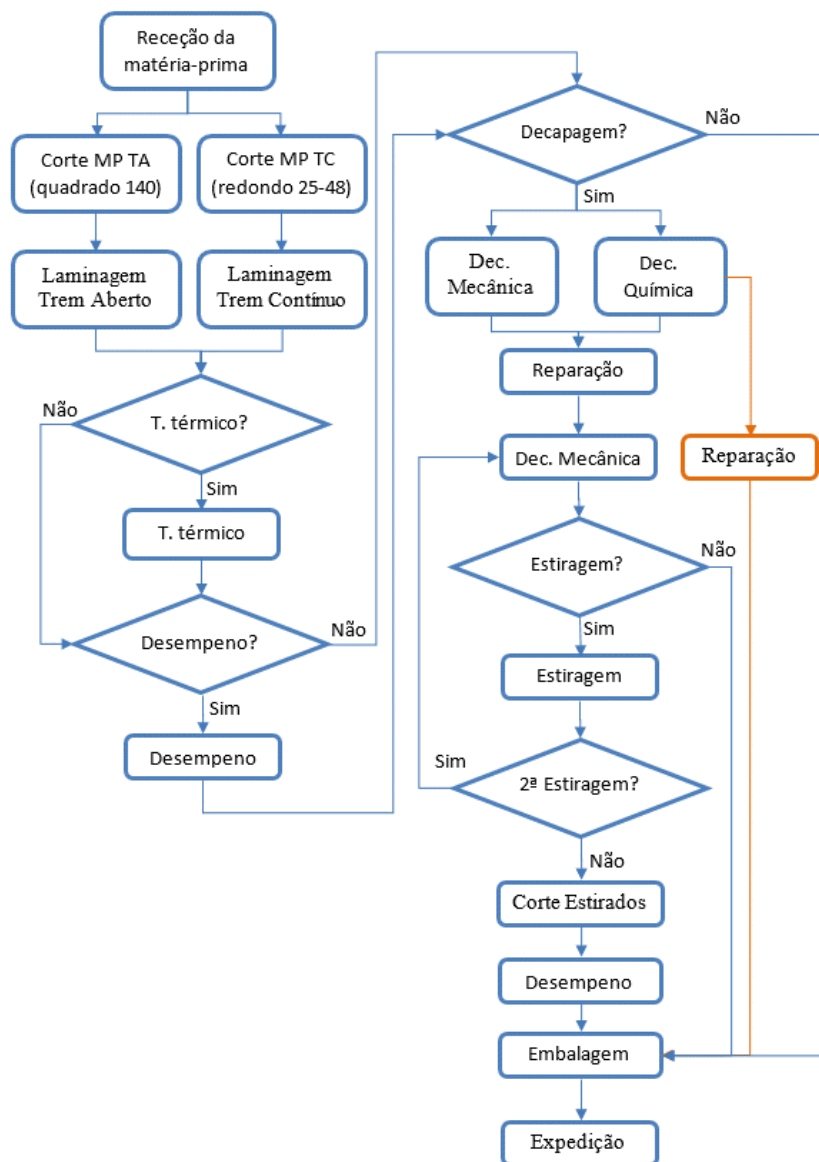


Figura 1.5. Fluxograma geral de produção da Böllinghaus

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. TPM

De acordo com Pinto (2013), o conceito de Manutenção Produtiva havia sido desenvolvido pelos norte americanos nos anos 1950 para apoiar as atividades de manutenção militar. Contudo, os nipónicos cedo se aperceberam de que, se desdobrassem a responsabilidade pela manutenção dos equipamentos por todos aqueles que direta ou indiretamente atuam com eles, obteriam melhores resultados.

Segundo Cabral (2006), a TPM é a manutenção conduzida com a participação de todos, desde os operadores das máquinas e do pessoal da manutenção, até ao nível superior de gestão, passando pelos quadros intermédios.

Pode então dizer-se que o objetivo da TPM consiste na melhoria da estrutura da empresa em termos materiais e humanos, através da eliminação de falhas, defeitos e outras fontes de perdas e desperdícios. Com isto, tem em vista a maximização global da eficiência das máquinas e equipamentos, considerando toda a sua vida útil, com o envolvimento de todos, a todos os níveis.

Na Figura 2.1 estão apresentadas as bases e os 8 pilares que suportam a filosofia TPM, que serão descritos seguidamente.

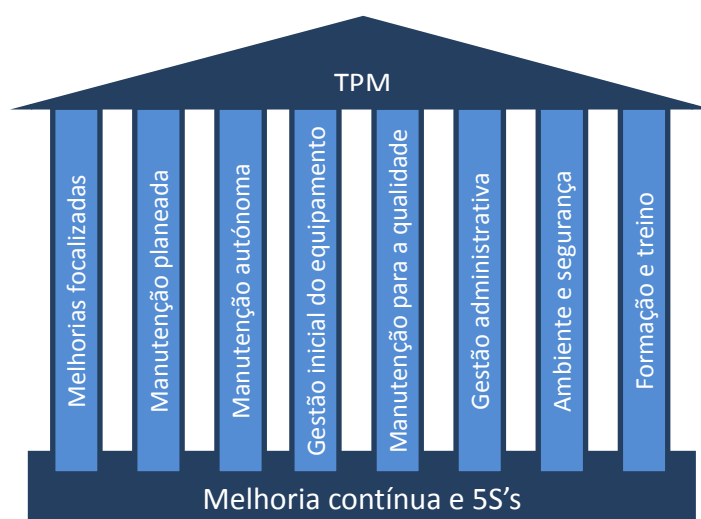


Figura 2.1. Estrutura da TPM

Melhorias focalizadas (kobetsu kai-zen)

Consistem em ocorrências pontuais, cujos custos não são significativos para a empresa, mas que dão origem a grandes melhorias, por exemplo, a melhoria dos acessos aos pontos com maior taxa de avarias.

Manutenção planeada (keikaku hozen)

O principal propósito deste pilar é o aumento da disponibilidade do equipamento, através da redução do número de avarias. Para isso, é criado um plano de intervenções periódicas de manutenção.

Manutenção autónoma (jishu hozen)

É um ponto fulcral da TPM e refere-se à responsabilização dos colaboradores da produção pelas máquinas e equipamentos que operam, em termos de intervenções como limpeza, lubrificação e inspeção.

Gestão inicial do equipamento

Relaciona-se com o termo manutibilidade e condiciona, logo a partir da fase de projeto da máquina, as operações de manutenção a que estará sujeita. Pode também ser visto como parte do processo de decisão de compra entre vários equipamentos similares, em que se deve ter em conta os custos de manutenção ao longo de todo o ciclo de vida.

Manutenção para a qualidade (hinshitsu hozen)

Este pilar está relacionado com a diminuição de defeitos, através da conceção de sistemas à prova de erro (*poka-yoke*) ou sistemas que evitem a sua propagação (*jidoka*).

Gestão Administrativa (Office TPM)

Procura fazer uma abordagem aos problemas relacionados com os planeamentos de produção, procedimentos de trabalho, documentação e compras, dos quais se destacam as perdas por falhas de comunicação, de precisão e atrasos ou incumprimentos nas entregas.

Ambiente e segurança

Tem como objetivo garantir que a vertente ambiental e a segurança das pessoas não é menosprezada em benefício do desempenho operacional.

Formação e treino

Quando se trata de implementar a TPM, não basta atribuir responsabilidades. É necessário formar e treinar os colaboradores de modo a que estes compreendam o que tem de ser feito e como deve ser feito.

2.1.1. Partes envolvidas na TPM

Como já foi referido, a TPM requer o envolvimento de todas as pessoas da empresa. Na Figura 2.2, destacam-se as partes mais importantes, bem como as suas principais funções. Pode ainda verificar-se que existem funções que são da responsabilidade de mais que uma entidade.

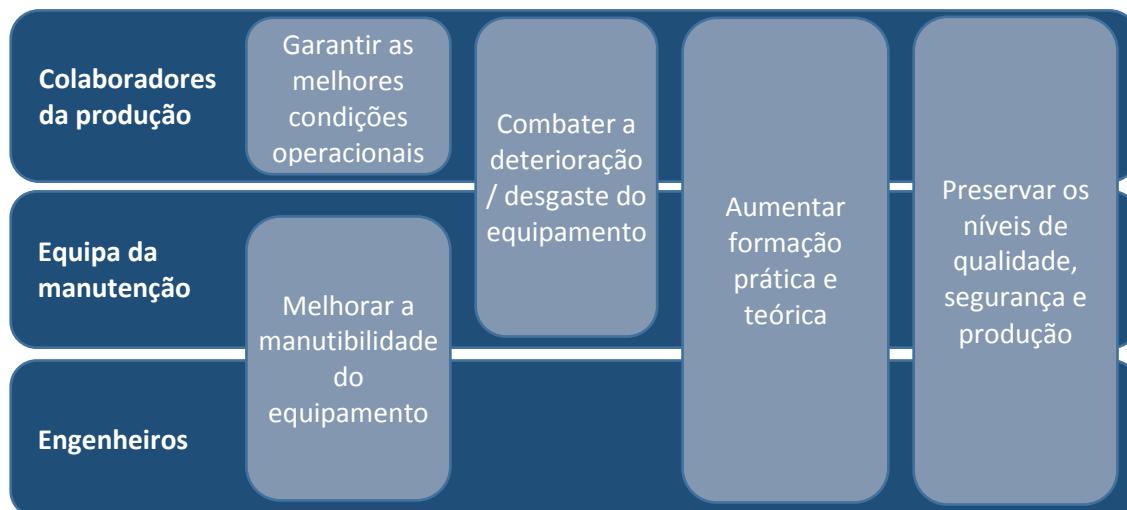


Figura 2.2. Partes envolvidas na TPM

Mais especificamente, os colaboradores da produção realizam tarefas como o reaperto de porcas e parafusos, lubrificação de componentes, limpeza do equipamento, pequenos ajustes e verificações. Têm ainda a obrigação de contatar a equipa da manutenção quando detetam que não têm capacidade de resolver o problema encontrado tanto em termos técnicos como de materiais.

A equipa da manutenção deve ser responsável por intervenções ao nível dos problemas reportados pelos colaboradores da produção, bem como de inspeções e/ou revisões mais complexas.

Os engenheiros têm o papel de planear, projetar e desenvolver máquinas e equipamentos que minimizem a necessidade de intervenções de manutenção. O objetivo é passar da manutenção preventiva para a prevenção da manutenção.

Por fim, importa referir a importância por parte das chefias a nível motivacional na implementação desta filosofia.

2.1.2. Seis Grandes Perdas

Os problemas em equipamentos reduzem a sua produtividade de seis formas, chamadas seis grandes perdas:

- Falhas / avarias nos equipamentos
- Tempos de *setup* (mudanças de ferramentas)
- Diminuição da velocidade do processo
- Defeitos e reprocessos
- Tempos de espera por matérias-primas, operações de controlo, etc.
- Tempo de arranque das máquinas

Cabe à TPM eliminar ou, pelo menos, reduzir cada uma destas grandes perdas (Dillon, 1996).

2.1.3. Manutenção Autónoma

Segundo Pinto (2013), a melhor maneira de iniciar este processo é através da implementação dos 5S's. Assim, deve ser dedicado algum tempo à limpeza inicial e melhoria dos acessos aos locais de difícil limpeza, não esquecendo a implementação de medidas que visem a continuidade destas ações.

Seguidamente, deve proceder-se a uma uniformização das atividades de manutenção e ao desenvolvimento de práticas de inspeção geral, através da criação de procedimentos e do sentimento de responsabilidade entre os colaboradores.

Quando se atinge este ponto, já existem condições para os operadores serem autónomos no que toca à inspeção, organização e gestão do seu equipamento e respetiva área envolvente. Neste ponto, será necessária a criação de diagramas de funcionamento, normas, instruções de trabalho e *checklists*. Deve ser designado um responsável que verifique se tudo está a ser cumprido.

2.1.4. Overall Equipment Efficiency (OEE)

O OEE, em português rendimento global do equipamento, é um indicador utilizado para determinar o padrão atual de aproveitamento de um dado equipamento. Tem em conta três fatores, como se pode verificar na equação (2.1): a disponibilidade operacional, o desempenho (forma como o processo é desencadeado) e a qualidade dos produtos produzidos.

$$OEE = Disponibilidade * Desempenho * Qualidade \quad (2.1)$$

De acordo com Teixeira (2014), o JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) criou o conceito de classe mundial OEE, utilizado como índice de *benchmarking* mundial, como se pode ver na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Valores OEE Classe Mundial

Fator OEE	Classe Mundial
Disponibilidade	90%
Desempenho	95%
Qualidade	99.9%
OEE	85%

Apesar dos valores apresentados na tabela, a realidade da grande maioria das empresas é ter equipamentos com OEE's na ordem dos 50% a 60%, ou seja, estão a desperdiçar metade do potencial do equipamento.

2.1.5. Implementação da TPM

Antes de mais, importa referir que é necessário um planeamento cuidado aquando da implementação da TPM recorrendo, por exemplo ao manual e históricos de manutenção dos equipamentos.

Tipicamente, as empresas optam por iniciar a implementação num único setor, com elevada probabilidade de melhorias. Deste modo, os resultados têm uma grande visibilidade, fazendo com que os restantes colaboradores acreditem nesta filosofia e se sintam mais motivados a aplicá-la aos seus próprios setores de forma mais ativa (Pinto, 2013).

Para que esta filosofia apresente resultados, é necessário que todos os pilares sejam considerados e mantidos ao longo do tempo.

2.1.6. Sistema de produção da Toyota (TPS)

Analisando as quatro regras do sistema de produção da Toyota (Tabela 2.2), facilmente se percebe que estas se enquadram na manutenção produtiva total (Pinto, 2013).

Tabela 2.2. Regras do sistema de produção da Toyota

Regra 1 - Todo o trabalho deve ser claramente especificado a vários níveis: conteúdo, sequência, <i>timings</i> e resultados esperados;
<ul style="list-style-type: none">• Documentar tudo o que é realizado para melhorar o equipamento em procedimentos que todos respeitem e sigam• Detalhar os programas de manutenção de forma a orientar todos os trabalhos• Agendar reuniões periódicas entre produção e manutenção para a definição de estratégias e objetivos comuns
Regra 2 - Qualquer ligação cliente-fornecedor deve ser clara e direta;
<ul style="list-style-type: none">• É essencial que a manutenção tenha as ferramentas e materiais necessários à sua disposição no momento certo• Deve haver uma boa gestão de stocks de peças de reserva• As falhas / avarias do equipamento devem ser claramente identificadas (através de sinais visuais) para que não haja dúvidas quanto à sua localização• Todas as intervenções por parte da manutenção devem ser documentadas e assinadas, de forma a provar a sua execução
Regra 3 - O percurso para qualquer produto ou serviço deve ser simples e direto
<ul style="list-style-type: none">• Todos os colaboradores devem saber o que fazer e a quem se dirigir em caso de avaria dos equipamentos• A equipa de manutenção deve saber a quem se dirigir no caso de os problemas excederem as suas competências• Toda a documentação e materiais de apoio técnico devem estar acessíveis
Regra 4 - Cada melhoria deve ser de acordo com o método científico, sob a orientação de um mestre ao mais baixo nível hierárquico da empresa.
<ul style="list-style-type: none">• Recolha de dados de forma a gerar informação que apoiará as decisões futuras• Devem ser utilizadas ferramentas de análise para estudar problemas crónicos e esporádicos• Criação de equipas de trabalho multidisciplinares orientadas para a resolução de problemas

2.1.7. Resultados esperados com a TPM

Após a implementação e desenvolvimento da TPM, são esperados alguns resultados positivos, como é o caso da minimização do número de avarias, a redução dos tempos de reparação e outras paragens, a redução dos defeitos de qualidade e dos acidentes de trabalho e o aumento da fiabilidade e produtividade da máquina.

Podem referir-se ainda alguns resultados como o aumento da motivação dos colaboradores através da criação de um ambiente de trabalho agradável ou a melhoria da imagem da empresa. Estes não são facilmente quantificáveis mas, ainda assim, contribuem de forma bastante positiva para a empresa (Dillon, 1996).

É essencial ter em conta a necessidade de manter os resultados obtidos.

2.2. Seis Sigma

Seis sigma é o nome dado a um método introduzido pela Motorola no decorrer da década de 80, com o objetivo de aumentar a sua competitividade perante os seus concorrentes.

De acordo com Ferreira, et al. (2013), o objetivo principal do seis sigma consiste na redução da variabilidade associada a produtos e/ou processos.

De modo mais geral, para Gupta, et al. (2012), pode ser concebido como uma estratégia para melhorar imediatamente a rentabilidade da empresa ao reduzir os desperdícios, conseguir um crescimento sustentável das receitas e criar uma cultura de procura constante por um desempenho de nível mundial através da reengenharia de processos.

O seis sigma é vulgarmente visto como mais uma ferramenta de gestão da qualidade. Este fato deve-se ao objetivo de reduzir a variação dos processos, até à meta dos 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (eficácia de 99.99966%).

Na Tabela 2.3 são apresentados os vários níveis sigma e correspondentes defeitos por milhão de oportunidades (DPMO), eficácia e custos de não qualidade (percentagem do volume de faturação).

Tabela 2.3. Níveis sigma (Buthmann, 2012) (Terry)

Nível Sigma	DPMO	Eficácia	Custo de não qualidade
1	690 000	31%	-
2	308 537	69.15%	>40%
3	66 807	93.319%	25 – 40%
4	6 210	99.379%	15-25%
5	233	99.9767%	5 – 15%
6	3.4	99.99966%	<1%

Segundo Teixeira (2014) a maioria das empresas está no nível Sigma 4, isto é, 6210 defeitos por 1 milhão de oportunidades, o que conduz a um rendimento de 99.4%. Este nível leva a empresa a um custo de não qualidade entre os 15 a 25% da sua faturação.

Para que esta metodologia seja implementada, é necessário formar uma equipa responsável pelo planeamento e desenvolvimento desta, constituída por diferentes intervenientes, aos quais são atribuídas designações (Tabela 2.4).

Tabela 2.4. Elementos da equipa responsável pelo seis sigma (Norte, 2011)

Designação	Função
Champion	Liderar o projeto a nível executivo e comprometer-se com o sucesso do seis sigma
Black Belts	Liderar e orientar as equipas e apresentar os resultados dos projetos selecionados
Green Belts	Formar e conduzir equipas seis sigma e administrar os projetos desde a sua conceção até à conclusão, mas apenas do ponto de vista do projeto
Yellow Belts e White Belts	Gerir os projetos. São trabalhadores da empresa que mantêm as habituais funções, mas que a tempo parcial trabalham em projetos seis sigma nas suas áreas

2.2.1. DMAIC

O programa seis sigma é habitualmente dividido em 5 fases, numa metodologia idealizada por Edwards Deming denominada DMAIC. Através da sua utilização é possível gerir qualquer projeto de forma lógica e sempre tendo em conta o seu principal objetivo (Teixeira, 2014).

No âmbito do seis sigma, a primeira fase, definir, consiste na identificação do processo que será alvo de melhoria, através da definição do plano do projeto (diagrama de Gantt), construção de mapas de processo e diagramas SIPOC.

A fase medir tem como objetivo reconhecer o estado atual do processo (ponto inicial que servirá de referência para comparações futuras), através da medição do DPMO, nível sigma, OEE, entre outros.

Seguidamente, procede-se à análise dos dados (fase analisar), de modo a descobrir as causas dos problemas, isto é, qual o motivo de o setor não estar a operar na sua capacidade máxima e com zero defeitos. Nesta fase são utilizadas ferramentas como Diagramas de Ishikawa, Gráficos de dispersão e FMEA (Análise do modo de falha e efeito).

Na fase melhorar, são identificadas várias soluções que poderão vir a ser introduzidas de modo a eliminar ou a reduzir as fontes de variação previamente analisadas.

A última fase, controlar, pretende garantir que o que foi implementado se mantenha a longo prazo e não seja esquecido. Este objetivo é conseguido através da criação de gráficos de controlo, controlo estatístico do processo, ou outros métodos considerados relevantes.

Importa referir que não existe uma regra quanto à utilização das ferramentas acima mencionadas. No entanto deve ter-se o cuidado para que, por um lado, não se faça uma análise demasiado simplista nem que, por outro, se caia no erro de utilizar ferramentas em excesso, criando dados redundantes de que nada servirão para analisar o processo (Castro, 2013).

2.3. 5S's

Os 5S's (do japonês Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu e Shitsuke) têm o objetivo de organizar e normalizar os postos de trabalho, melhorar a segurança dos trabalhadores e a eficiência do trabalho e aumentar a produtividade (CENERTEC, 2014). Todos estes fatores fazem com que o ambiente de trabalho de torne mais agradável.

Segundo Castro (2013), é a aplicação prática do bom senso e da convicção de que as coisas mais básicas vêm em primeiro lugar: organização, limpeza e disciplina.

Seiri – Simplificar

O primeiro passo dos 5S's consiste em separar aquilo que é desnecessário ao local de trabalho, isto é, manter apenas os materiais essenciais à execução das operações que lhes estão atribuídas (Figura 2.3). Este processo deve ser aplicado nas bancadas de trabalho, zonas de circulação, armários e estantes.



Figura 2.3. Eliminação do que não é necessário no posto de trabalho (BP Biocombustíveis, 2012)

Seiton – Arrumar

Após retirar tudo o que é desnecessário, é fundamental que se organize o que fica. Deste modo, deve colocar-se cada objeto no seu lugar, e deve existir sempre um lugar para cada objeto. Na definição destas localizações, deve ter-se em atenção a facilidade de acesso e a taxa de utilização de cada um dos objetos (Pinto, 2009). Na Figura 2.4 é apresentado um exemplo de um *shadow board*.



Figura 2.4. Shadow Board (Dave Barry Plastics)

Seiso – Limpar e inspecionar

O objetivo desta fase é criar um local de trabalho limpo e agradável, permitindo a correta utilização dos equipamentos, a segurança dos colaboradores e a racionalização da matéria-prima e consumíveis.

É necessário ter em atenção que a melhor forma de manter um local limpo não passa por estar constantemente a parar a produção para efetuar a limpeza, mas sim eliminar as fontes de sujidade (CENERTEC, 2014).

Seiketsu – Normalizar

Esta fase envolve a criação de regras, padrões e procedimentos que visam manter tudo o que já foi feito, como forma de consolidar os ganhos já obtidos (Pinto, 2009).

Shitsuke – Rigor e disciplina

Consiste na criação de um compromisso da parte dos colaboradores de cada setor em mantê-lo conforme o que foi estabelecido (Figura 2.5). Deve ser nomeado um responsável pela implementação e melhoria dos procedimentos implementados. Podem ainda ser definidos objetivos temporais para que seja cumprida a disciplina necessária aos 5S's (CENERTEC, 2014).



Figura 2.5. Cumprimento de regras e procedimentos (Farias, 2011)

2.4. Fiabilidade

Pode definir-se fiabilidade como sendo a probabilidade que um equipamento tem de exercer uma função requerida num dado período de tempo e em condições específicas de funcionamento, ou seja, traduz a confiança que se pode depositar no equipamento.

De acordo com Pinto (2013), o conceito de fiabilidade está intimamente ligado ao conceito de qualidade. A fiabilidade de um equipamento representa a sua capacidade em reter as suas características de qualidade à medida que o tempo passa.

As leis mais utilizadas para a calcular são a exponencial negativa, normal, lognormal, e de Weibull.

2.4.1. Indicadores de manutenção

Existem diversos indicadores aplicados no âmbito da manutenção, que poderão ser aplicados no auxílio da tomada de decisões de gestão, no planeamento de ações preventivas e em análises comparativas do desempenho da atividade entre vários anos, ou entre duas máquinas semelhantes.

2.4.1.1. Taxa de avarias

A taxa de avarias define-se como o número de avarias que um equipamento sofreu por unidade de contagem. Para o cálculo da taxa de avarias por mês (λ), deve utilizar-se a equação (2.2) (Cabral, 2006).

$$\lambda = \left(\frac{n^{\circ} \text{ de avarias}}{n^{\circ} \text{ de dias analisados}} \right) * 30 \quad (2.2)$$

2.4.1.2. MTBF

O tempo médio entre falhas (do inglês mean time between failures) exprime o tempo médio de bom funcionamento de um equipamento entre duas avarias consecutivas e utiliza-se apenas no caso de o objeto em estudo ser reparável. O seu valor pode ser calculado como o inverso da taxa de avarias, equação (2.3) (Cabral, 2006).

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.3)$$

2.4.1.3. MTTF

No caso de equipamentos que não são reparáveis, sendo substituídos por novos, é utilizado o tempo médio até à falha (do inglês mean time to failure). O cálculo é feito da mesma forma que o MTBF (Pinto, 2013).

2.4.1.4. MTTR

Sempre que ocorre uma avaria de um equipamento, há um período de tempo em que este não pode operar, uma vez que está sujeito a uma operação de reparação. Este indicador, denominado tempo médio de reparação (mean time to repair), transmite a soma de todas as atividades descritas na Figura 2.6 (Assis, 2014).

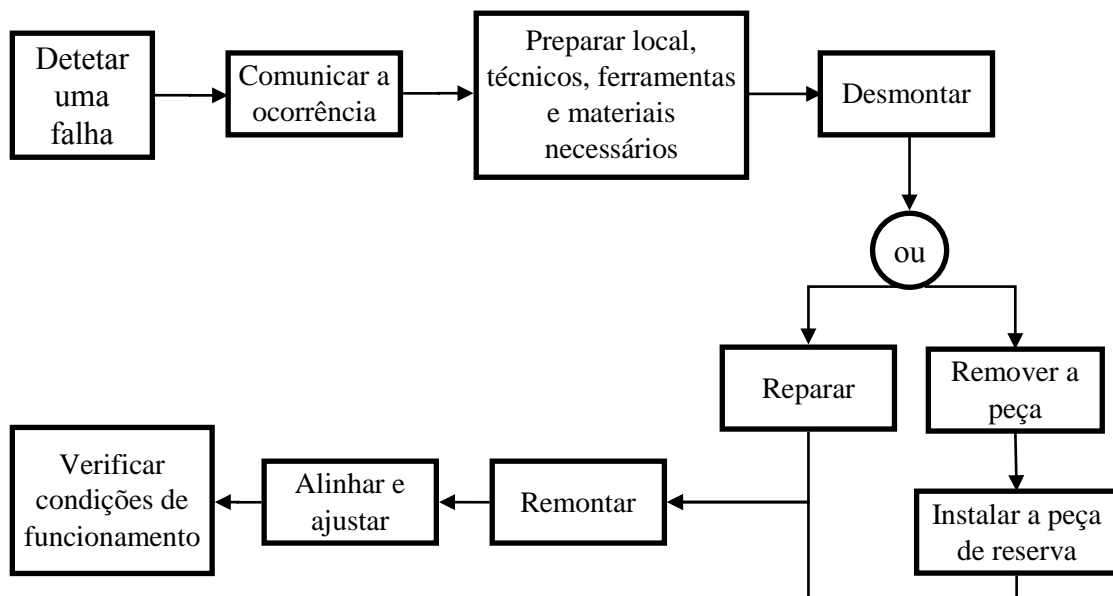


Figura 2.6. Atividades de manutenção corretiva (Assis, 2014)

2.4.1.5. MWT

O *mean waiting time* ou, em português, tempo médio de espera, traduz a eficiência do apoio logístico, influenciando de forma considerável a disponibilidade dos equipamentos. Estes tempos de espera não estão incluídos nos tempos de reparação (Pinto, 2013).

3. FASE DEFINIR

Sendo esta a primeira fase da metodologia DMAIC, será feita uma definição dos objetivos do projeto, bem como uma descrição dos processos que serão alvo de melhorias. A distribuição temporal está descrita no diagrama de Gantt que pode ser consultado no APÊNDICE A.

3.1. Definição da equipa

De modo a desenvolver o projeto foi formada a equipa enumerada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Equipa seis sigma

Designação	Nome	Função
Champion	Bruno Pedro	Diretor geral
Black belt	José Santos	Diretor de produção
Green belt	João Nabeiro	Autor da dissertação
Yellow belts	-	Técnicos de turno
White belts	-	Colaboradores do setor

3.2. Descrição do setor de estiragem

O setor de estiragem conta com duas máquinas de estiragem (uma delas instalada em Fevereiro de 2015), uma máquina de jatear, duas máquinas de lavagem das barras, duas máquinas de corte, uma máquina de chanfrar, duas prensas e uma máquina de desempenho. Tendo em conta a duração do projeto, apenas será alvo de estudo a máquina de jatear.

Quanto à nova máquina de estirar, é de extrema importância que se apliquem normas e procedimentos logo desde a sua fase inicial, de forma a garantir as melhores condições de trabalho e uma melhor manutenção do próprio equipamento.

3.2.1. Layout do setor de estiragem

Neste ponto, é apresentada uma representação esquemática do *layout* atual do setor de estiragem (Figura 3.1), cuja legenda se encontra na Tabela 3.2.

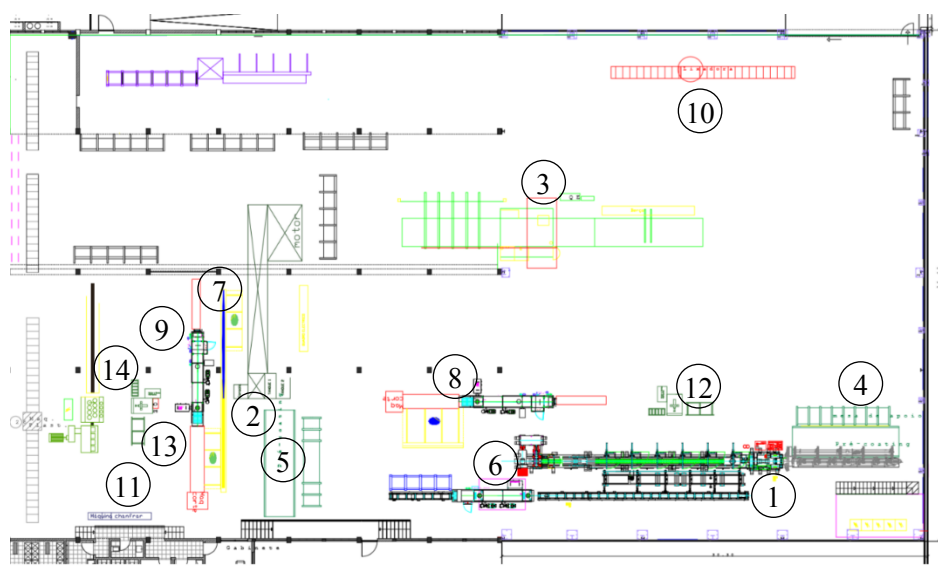


Figura 3.1. Layout do setor de estiragem da Böllinghaus

Tabela 3.2. Legenda do layout do setor de estiragem da Böllinghaus

Nº	Descrição
1	Nova máquina de estiragem SAS
2	Máquina de estiragem Dhaulus
3	Equipamento de jatear
4	Pré-coating da estiragem SAS
5	Pré-coating da estiragem Dhaulus
6	Lavagem de perfis da estiragem SAS
7	Lavagem de perfis da estiragem Dhaulus
8	Máquina de corte da estiragem SAS
9	Máquina de corte da estiragem Dhaulus
10	Lixadora
11	Máquina de chanfrar
12	Prensa
13	Prensa
14	Máquina de desempenho

3.2.2. Jateamento

A função da máquina de jatear é projetar granalha de aço contra as barras, sendo estas sujeitas a um processo abrasivo, conferindo-lhes uma superfície rugosa mais uniforme (Figura 3.2). Deste modo, a superfície adquire a rugosidade necessária para que o material possa ser estirado.

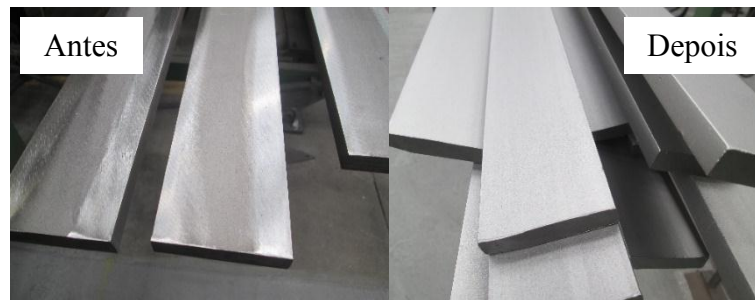


Figura 3.2. Barras antes e depois da passagem pela máquina de jatear

Aquando do estudo deste equipamento (Figura 3.3), é necessário ter em consideração que nem sempre é possível processar um atado apenas numa passagem. Isto deve-se a fatores como o número de barras do atado e o peso de cada uma delas, dadas as restrições da máquina (largura do transportador e peso suportado pelas correntes de carga e descarga).

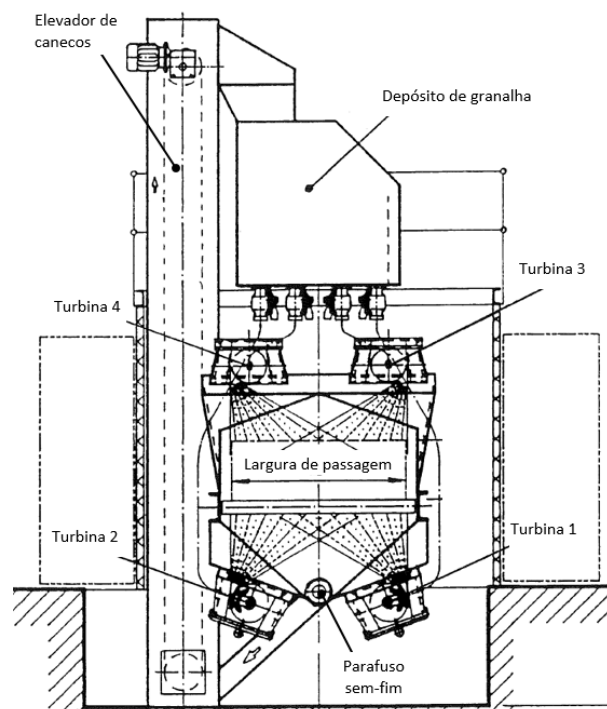


Figura 3.3. Foto e esquema de funcionamento do equipamento de jatear

O principal problema desta máquina é que, ao projetar a granalha de aço, esta acaba por atingir não só as barras que passam no transportador, mas também o interior da própria máquina (Figura 3.3). Considera-se então que se trata de uma máquina autodestrutiva. Como consequência, tem de ser alvo de inúmeras operações de reparação e substituição de peças internas, sendo o equipamento com maior número e tempo de paragem por avarias.

3.2.2.1. Mapa do processo de jatear

Na Figura 3.4 encontram-se esquematizados todos os passos do processo de jateamento. Este permite estabelecer um entendimento comum, garantindo a reprodutibilidade. Esta representação visual pode também criar estímulo para uma série de ideias de melhoria (Gupta, et al., 2012).

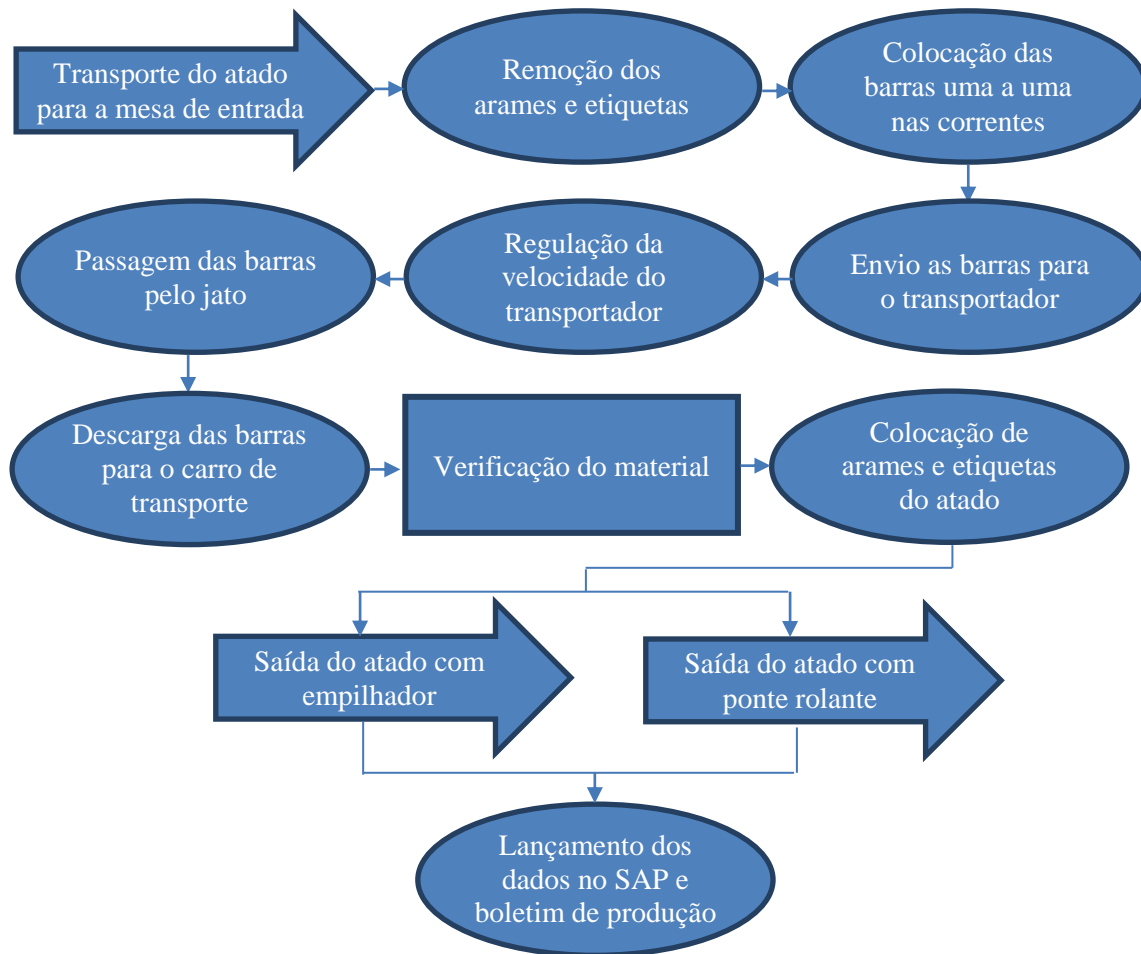


Figura 3.4. Mapa do processo de jatear da Böllinghaus

3.2.2.2. SIPOC

O diagrama SIPOC é uma ferramenta que ajuda a identificar ou a confirmar a adequabilidade da equipa na análise dos pontos listados no diagrama (Castro, 2013).

De seguida, é apresentado o diagrama SIPOC do equipamento de jatear (Figura 3.5), que se encontra subdividido no processamento das barras, no consumo de granalha e nas operações de manutenção a que o equipamento está sujeito, visto que estas últimas são de extrema importância no desenvolvimento deste projeto.

Suppliers (Fornecedores)	Inputs (Entradas)	Process (Processo)	Outputs (Saídas)	Costumers (Clientes)
Reparação Desempeno	Barras reparadas Barras desempenadas Etiquetas Arame do atado	Transporte do atado para a mesa de entrada Remoção dos arames e etiquetas Colocação das barras uma a uma nas correntes Envio das barras para o transportador Passagem das barras no jato Descarga das barras para o carro Colocação dos arames e etiquetas no atado Saída do atado Lançamento dos dados no SAP e no boletim de produção	Barras jateadas Etiquetas Arame do atado Boletim de produção Informação no SAP	Embalagem Reparação Estiragem Departamento de logística Diretor de produção
Vulkan Frohn	Granalha de aço	Projeção da granalha contra as barras	Finos de granalha	Big-bags
Setor de manutenção	Operações de manutenção Palhetas Chapas de proteção Fixadores de palhetas Anilhas para fixar palhetas Filtros	Verificação do funcionamento e/ou desgaste dos diversos componentes Soldadura de componentes Substituição de componentes Lubrificação de elementos móveis	Equipamento verificado, reparado e lubrificado	Máquina de jatear

Figura 3.5. Diagrama SIPOC do equipamento de jatear

3.3. Definição do problema

O problema central da presente dissertação é a necessidade de redução do número e tempos de paragens por avaria dos equipamentos no setor da estiragem. De modo a colmatar este problema e aumentar a produtividade deste setor será implementada a manutenção produtiva total (TPM), esperando conseguir um aumento do OEE, bem como da confiança no sistema. Serão também estudadas soluções de melhoria a implementar neste setor, com maior enfoque no equipamento de jatear, resultando numa diminuição de custos de consumíveis e do tempo médio de paragem do transportador. Os objetivos para o jato foram devidamente quantificados numa reunião com toda a equipa e encontram-se na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Definição dos objetivos a atingir

Indicador	Inicial	Meta	Variação
OEE	28.86 %	43.29 %	↑ 50%
MTTR + MWT	3.1 horas	1.6 horas	↓ 50%
Nível sigma	1.84	3.42	↑ 86%
Custo granalha	20 €/ton	10 €/ton	↓ 50 %
Custo peças de substituição	8.9 €/ton	2.2 €/ton	↓ 75 %
Tempo médio de paragem do transportador	119 seg.	100 seg.	↓ 16 %

Os primeiros dois indicadores, OEE e MTTR + MWT, são facilmente melhorados através da redução dos tempos de espera, razão pela qual foi definida a variação de 50% como meta.

Quanto ao nível sigma, foi decidido que o jato apenas deve sofrer paragens devido a avarias 10 dias por ano.

Uma vez que grande parte dos pontos de fuga de granalha serão alvo de reparação, prevê-se uma diminuição nos custos deste consumível, na ordem dos 50%. Além disso, a mudança de tipo de granalha de angular para esférico, irá reduzir significativamente o desgaste do equipamento, diminuindo o custo das peças de substituição de forma considerável.

Por último, o fator em que haverá mas dificuldades de melhoria será a redução do tempo médio de paragem do transportador, devido à falta de meios para colmatar este problema.

4. FASE MEDIR

4.1. Medição de tempos

4.1.1. Processo de jateamento

A medição dos tempos de um processo é essencial para uma análise correta e precisa. Assim, foram efetuadas medições dos tempos de cada operação que constitui o processo, tendo-se obtido os valores médios apresentados na Tabela 4.1.

Por questões de simplificação considera-se que todas as barras de um atado são jateadas na mesma passagem.

Tabela 4.1. Tempos médios do processo de jateamento

Nº	Operação	Tempo (s)
1	Transporte do atado para a mesa de entrada	138
2	Remoção dos arames e etiquetas	35
3	Colocação das barras uma a uma nas correntes	119
4	Envio das barras para o transportador	17
5	Regulação da velocidade do transportador	2
6	Passagem das barras no jato	803
7	Descarga das barras para o carro	24
8	Colocação dos arames e etiquetas no atado	31
9	Saída do atado	
	Com empilhador	71
	Com carro de transporte e ponte rolante	150
10	Lançamento dos dados no SAP e no boletim de produção	120

De acordo com os dados da tabela, o tempo médio total é de 1 360 segundos (22.7 minutos) no caso de a saída do atado ser feita com um empilhador e 1 439 segundos (24.0 minutos) caso a saída seja feita com o carro de transporte e ponte rolante.

A escolha do modo de saída depende do destino do atado e da disponibilidade dos equipamentos em questão.

Embora o tempo de processamento seja o indicado, não se deve calcular o tempo total de processamento de vários atados como a simples multiplicação do tempo de processamento pelo número de atados. Isto deve-se ao facto de poder estar mais do que um atado a ser processado em simultâneo (situação que se verifica mais frequentemente).

4.1.2. Tempos de paragem do transportador

Na análise dos tempos de paragem do jato, considera-se tempo não produtivo as paragens do transportador das barras. Os resultados de todas essas paragens ao longo de dois turnos de 8 horas encontram-se na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Tempos de paragem do transportador

Descrição	Nº ocorrências	Tempo total (s)	Tempo médio (s)
Descarga das barras para o carro	33	1724	52
Afastar barras na entrada do jato	5	247	49
Espera pelo carro	4	1883	471
Espera pelo porta-paletes	3	844	281
Barras presas na corrente de descarga	2	99	50
Carregamento de atado	2	437	219
Mudança de atado com ponte rolante	3	765	255
Lançamento de dados no SAP	4	649	162
Total	56	6 648	119

Analisando a tabela, podemos considerar o tempo de descarga das barras para o carro e o tempo de carregamento do primeiro atado como sendo um tempo interno, ou seja, não é possível eliminar este tempo do processo visto que é uma parte integrante do mesmo. Os restantes tempos (4 487 segundos, ou seja, 75 minutos) são considerados tempos externos e devem ser aplicadas melhorias para que sejam eliminados.

Além dos tempos referidos, verificou-se ainda uma paragem de 100 minutos para dar formação a um novo colaborador e para organizar atados (paragens não planeadas) no primeiro turno. Já no segundo turno observado, a máquina esteve parada 265 minutos devido à falta de material para jatear e 30 minutos para o colaborador realizar a análise semanal à granalha. Em ambos os turnos foram feitas mais duas paragens, sendo estas planeadas: 30 minutos para lanche e 30 minutos para limpeza.

4.2. Capacidade produtiva do equipamento de jatear

A capacidade produtiva do equipamento de jatear depende do número de barras por atado, comprimento, dimensões do perfil (o espaço entre barras tem de ser metade da altura destas, sendo o mínimo 1 centímetro), tempo de paragem para descarga e velocidade do transportador.

Devido à elevada variabilidade de perfis processados neste equipamento, o cálculo foi feito com base na média dos valores de toda a produção do mês de Fevereiro de 2015, nomeadamente:

- Comprimento médio das barras por passagem: 5 261 mm = 5.261 m
- Peso médio por passagem: 733 kg
- Velocidade média do transportador: 0.775 m/min
- Distância entre 2 passagens consecutivas (estimado): 0.75 m
- Tempos de descarga das barras para o carro (média de dois turnos): 0.87 seg

A partir dos dados recolhidos, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Capacidade produtiva do jato

Duração entre passagens	0.97 min
Duração média de descarga	0.87 min
Duração média passagem	6.79 min
Duração total do processamento	8.63 min
Capacidade produtiva do jato	85 kg/min 5 100 kg/hora

4.3. OEE do equipamento de jatear

De modo a calcular o rendimento global do equipamento (OEE) foi feita a análise a três turnos de 8 horas, dos quais foram calculados os seguintes valores (Tabela 4.4).

Tabela 4.4. Valores para cálculo do OEE

Descrição	Valor
Duração dos turnos	1440 minutos (24 horas)
Paragem para lanche (por turno)	30 minutos
Paragem para limpeza (por turno)	30 minutos
Paragem para análise à granalha (1 turno)	30 minutos
Paragens não planeadas	444 minutos
Capacidade produtiva máxima	85 kg/min
Total produzido	31 161 kg
Total rejeitado	984 kg

Com os dados da tabela anterior, foram calculados os indicadores apresentados na Tabela 4.5, onde se descrevem também as fórmulas utilizadas no seu cálculo.

Tabela 4.5. Indicadores OEE

Indicador	Fórmula	Resultado
Tempo de produção planeado	Duração dos turnos – Paragens planeadas	1 230 minutos
Tempo de produção real	Tempo de produção planeado – Paragens não planeadas	786 minutos
Quantidade produzida sem defeitos	Total produzido – Total rejeitado	30 177 kg

A partir dos valores anteriores já é possível obter o valor da OEE, que se encontra na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Cálculo OEE

Fator	Fórmula	Valor OEE	
Disponibilidade	$\frac{\text{Tempo de produção real}}{\text{Tempo de produção planeado}}$	0.6390	63.90%
Desempenho	$\left(\frac{\text{Total produzido}}{\text{Tempo de produção real}} \right) \times \text{Capacidade produtiva máxima}$	0.4664	46.64%
Qualidade	$\frac{\text{Quantidade produzida sem defeitos}}{\text{Total produzido}}$	0.9684	96.84%
Rendimento Global	Disponibilidade * Desempenho * Qualidade	0.2886	28.86%

O valor do rendimento global do equipamento obtido (28.86%) encontra-se num nível bastante abaixo do que é considerado a média dos equipamentos industriais (60%), o que demonstra a elevada importância da melhoria dos seus processos.

Na Figura 4.1 pode constatar-se que o principal motivo de perdas de tempo produtivo são as paragens não planeadas do equipamento (ultrapassando 30% do tempo total). Assim, deve ser este o foco de melhoria.

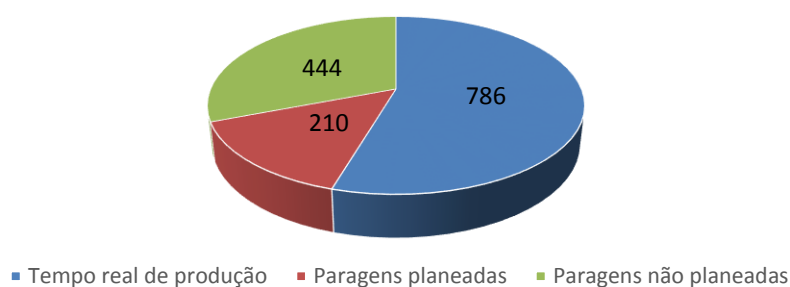


Figura 4.1. Gráfico de análise de tempos

O valor das paragens não planeadas registado encontra-se num nível anormalmente alto dado que a máquina esteve parada num dos turnos por falta de material para jatear e, noutro, para dar formação a um novo colaborador. Assim, podem considerar-se estes fatores como externos, visto que não se relacionam diretamente com funcionamento do equipamento. Fazendo esta separação, conclui-se que apenas 18% do tempo de paragens não planeadas têm como origem fatores internos.

4.4. Produção real do equipamento de jatear

Para uma correta definição da produção real do equipamento de jatear, foram recolhidos os dados dos últimos 15 meses, isto é, desde Janeiro de 2014. A sua evolução pode ser vista na Figura 4.2.

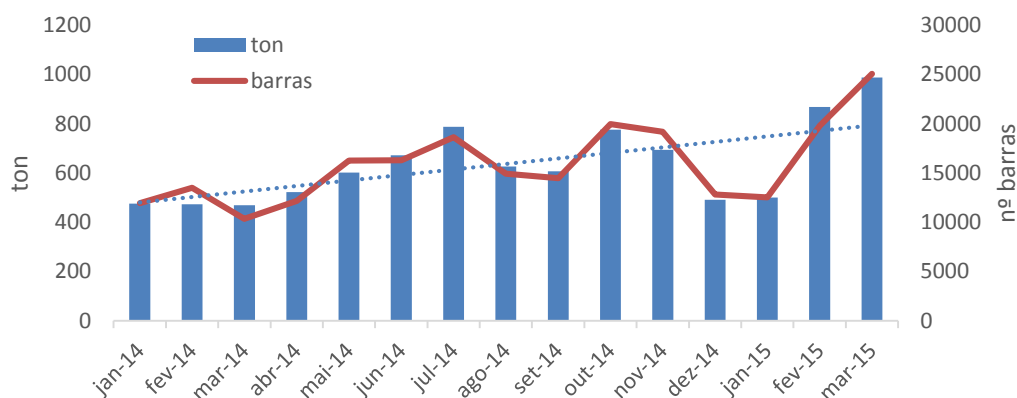


Figura 4.2. Gráfico da produção real do jato

Analisando o gráfico da Figura 4.2, pode concluir-se que a produção tem aumentado ao longo do tempo. No entanto, importa calcular alguns dados estatísticos, de forma a haver uma melhor compreensão do processo (Tabela 4.7).

Tabela 4.7. Dados estatísticos da produção mensal real (últimos 15 meses)

Ferramenta estatística	Toneladas	Nº de Barras
Mínimo	468	10 336
Máximo	988	25 079
Intervalo de variação	520	14 743
Média	637	15 856
Mediana	607	14 941
Variância	23 989	15 012 999
Desvio padrão	155	3 875
Coefficiente de variação	24,3	24,4

4.5. Custos do equipamento de jatear

Podem considerar-se dois tipos de custos principais no equipamento de jatear: os custos de granalha e os custos das peças de substituição. Foi analisado o período de um ano (Abril de 2014 a Março de 2015), do qual se retiraram os custos apresentados na Figura 4.3, onde se verifica que a grande maioria é devida à granalha consumida. O segundo maior custo é com as chapas de proteção, que representa 60% dos custos das peças de substituição. Os custos do jato neste período totalizaram os 219 827.30 €.

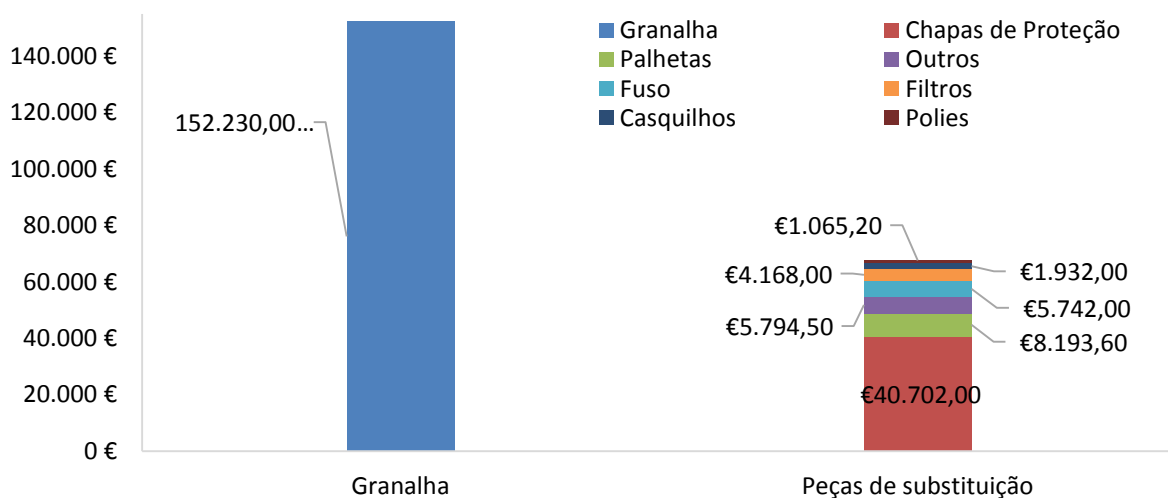


Figura 4.3. Gráfico de custos

Fazendo uma ligação com a produção, o jato tem um custo de granalha de 20€ por tonelada de aço produzido e um custo de peças de substituição de 8.9 €/ton.

4.6. Nível Sigma

Para calcular o nível sigma de um determinado processo, o primeiro passo é definir corretamente qual o defeito que se pretende medir. Neste caso, o defeito consiste no número de dias que o equipamento de jatear sofreu pelo menos uma paragem devida a avarias (excluindo paragens planeadas). O espaço temporal analisado foi de 221 dias, sendo que se verificaram 81 defeitos deste tipo. Com esta informação já é possível calcular o DPMO, utilizando a fórmula (4.1) (Teixeira, 2014).

$$DPMO = \frac{n^{\circ} \text{ dias com paragem} * 1\ 000\ 000}{n^{\circ} \text{ de dias analisados}} \quad (4.1)$$

Deste modo, obtêm-se 366 516 defeitos por milhão de oportunidades. Este valor equivale a um nível sigma 1.84.

5. FASE ANALISAR

5.1. Taxa de ocupação dos equipamentos

De modo a avaliar o funcionamento dos equipamentos foi efetuada uma análise que consistiu no cálculo da produção efetuada por cada turno no mês de Março de 2015, em termos de quilogramas por hora. Deste modo é possível comparar a produção mensal real com a máxima teórica (taxa de produção do melhor turno multiplicada pelo tempo total de produção mensal). Os dados analisados encontram-se organizados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Taxa de ocupação dos equipamentos da Böllinghaus em Março de 2015

Equipamento / Setor	Melhor turno (kg/h)	Produção real (ton)	Produção máxima (ton)	Taxa de ocupação (%)
F4	1007	718	798	90.0
F5	380	114	180	63.4
F6	292	177	202	87.6
EPR 300	2368	589	802	73.4
XLR 40	4058	1040	1323	78.7
CV45	2458	2453	3392	72.3
RC120	2471	1142	1258	90.8
GEP50	2198	507	547	92.6
Fresa 1	646	71	117	60.6
Fresa 2	540	62	70	88.5
Decapagem	2899	1373	1462	93.9
Jato	2335	941	1121	84.0
Estiragem 1+2	860	632	714	88.5
Corte	1650	631	888	71.0
Embalagem	2538	3273	3858	84.8

Fazendo a média de todos os equipamentos, obtemos o valor de 81.3%. Este valor, aparentemente positivo, pode ser algo falacioso, uma vez que apenas representa uma comparação com o melhor turno, e não com a capacidade produtiva do equipamento.

Exemplificando, no caso do jato, podemos ver que o melhor turno teve uma taxa de produção de 2335 kg/h. No entanto, a sua capacidade produtiva é de 5100 kg/h. Usando como teto máximo este valor, a taxa de ocupação do equipamento decresce para os 38.4%.

5.2. Diagrama de Ishikawa

Esta ferramenta, também conhecida como diagrama causa-efeito, permite averiguar as possíveis causas para um efeito, podendo cada uma delas ser posteriormente repartida em causas mais específicas.

O diagrama apresentado na Figura 5.1, foi elaborado numa reunião multidisciplinar com os colaboradores do jato, a equipa de manutenção e o responsável de setor.

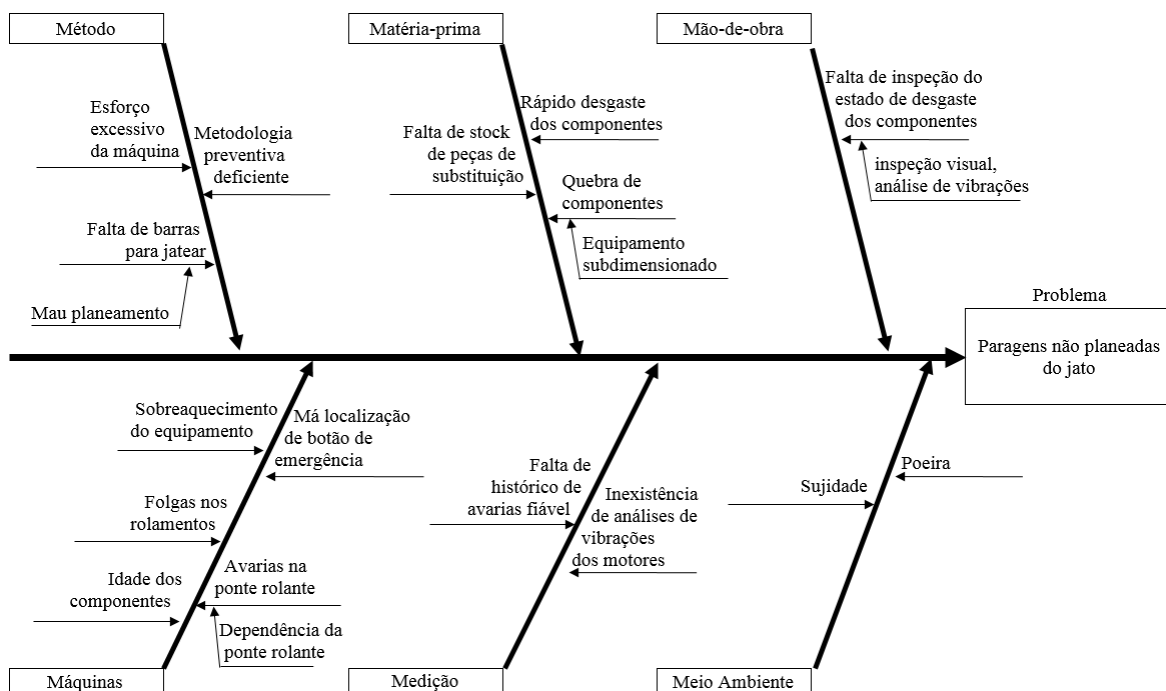


Figura 5.1. Diagrama de Ishikawa das paragens não planeadas do jato

5.3. Gráfico de Pareto

A análise de Pareto, ou ABC, baseia-se no facto de que, na grande maioria dos fenómenos, 80% das consequências têm origem em 20% das causas (Pinto, 2013).

Neste âmbito, foi feita uma análise focada nas paragens causadas por avarias durante 221 dias (Figura 5.2), de modo a avaliar quais as que causam maior impacto no equipamento, sendo que a quarta principal avaria que origina paragens no jato é a ponte rolante, o que demonstra a elevada dependência do jato por este equipamento.

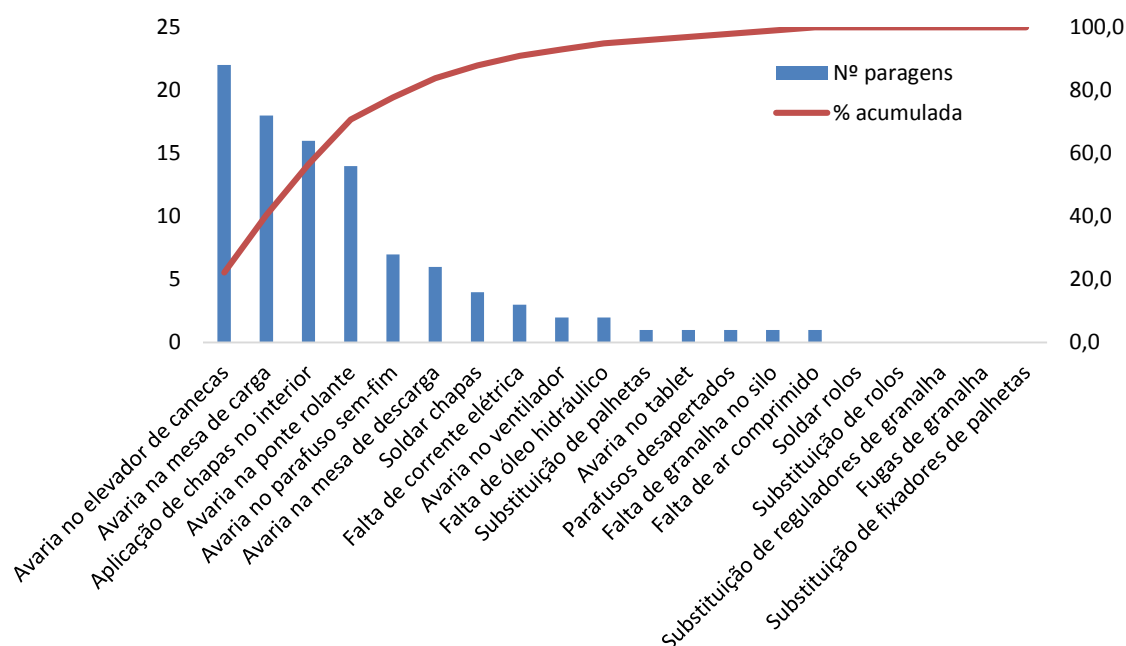


Figura 5.2. Gráfico de Pareto das paragens causadas por avarias no jato

5.4. Análise FMEA

A análise de modos de falhas e efeitos (Failure mode, Effect and Analysis) tem como objetivo a determinação dos aspetos críticos de um processo para os vários modos de falha, para que estes possam ser reduzidos (Teixeira, 2014).

No âmbito da Böllinghaus Steel S.A., foi elaborada uma análise FMEA ao equipamento de jatear, que pode ser consultada no APÊNDICE B, sendo que a avaliação de cada modo de falha foi feita com base nos valores da Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Indicadores para a análise FMEA (Gupta, et al., 2012)

Severidade (Sev)	Nível	Ocorrência da falha (Oco)	Nível	Deteção (Det)	Nível
Perigoso sem aviso	10	>1 em 2	10	Indetetável	10
Perigoso com aviso	9	1 em 3	9	Muito Remota	9
Muito elevada	8	1 em 8	8	Remota	8
Alta	7	1 em 20	7	Muito baixa	7
Moderada	6	1 em 80	6	Baixa	6
Baixa	5	1 em 400	5	Moderada	5
Muito baixa	4	1 em 2000	4	Moderadamente Alta	4
Reduzida	3	1 em 15 000	3	Alta	3
Muito reduzida	2	1 em 150 000	2	Muito Alta	2
Nenhuma	1	1 em 1 500 000	1	Quase certa	1

Após a classificação dos modos de falha segundo os três fatores, foi calculado o Número de prioridade de risco (NPR), utilizando a fórmula (5.1).

$$NPR = Sev * Oco * Det \quad (5.1)$$

Conclui-se que os modos de falha que carecem mais atenção são a avaria no elevador de canecos (432), a avaria no sem-fim (360) e o esforço excessivo dos colaboradores devido à falta de ponte rolante até à mesa de descarga (288).

Importa ainda realizar um estudo mais cuidado sobre estes pontos. A título de exemplo, encontra-se no APÊNDICE C um relatório A3 realizado após a avaria do motoredutor.

5.5. Indicadores de fiabilidade

Na Tabela 5.3 encontram-se descritos os valores relativos à fiabilidade dos componentes mais críticos do processo de jatear, em que a coluna relativa à fiabilidade foi calculada considerando as paragens programadas atuais (semanalmente, à quarta-feira). A quarta coluna, representa a média dos tempos de paragem do jato (soma do tempo médio de reparação com o tempo médio de espera) visto que no histórico existente não é feita a separação destes tempos.

Tabela 5.3. Indicadores de fiabilidade

Componente	Taxa de avarias (avarias/mês)	MTBF / MTTF (dias)	MTTR+ MWT (horas)	Fiabilidade
Chapas interiores	4.1	7.3	2.8	31.9%
Elevador de canecos	3.8	7.9	3.7	39.5%
Ponte rolante	1.9	15.8	1.7	45.0%
Parafuso sem-fim	1.5	20.0	4.6	64.3%
Palhetas	0.7	42.9	3.0	78.2%

5.6. Impacto da granalha

Tendo uma grande influência nos modos de falha do jateamento de perfis de aço, a granalha merece um estudo mais pormenorizado. Existem vários tipos disponíveis no mercado, sendo os principais fatores decisivos a forma (esférica ou angular) e o tamanho de grão.

Em termos de desgaste do equipamento, quanto mais esférica for a granalha, menor será a degradação associada. No entanto, o processo de jateamento não será tão eficaz e o produto final não adquire as características necessárias para o processo de

estiragem. Na Figura 5.3 é apresentada esta comparação, bem com a relação do tamanho de grão com o desgaste dos componentes.

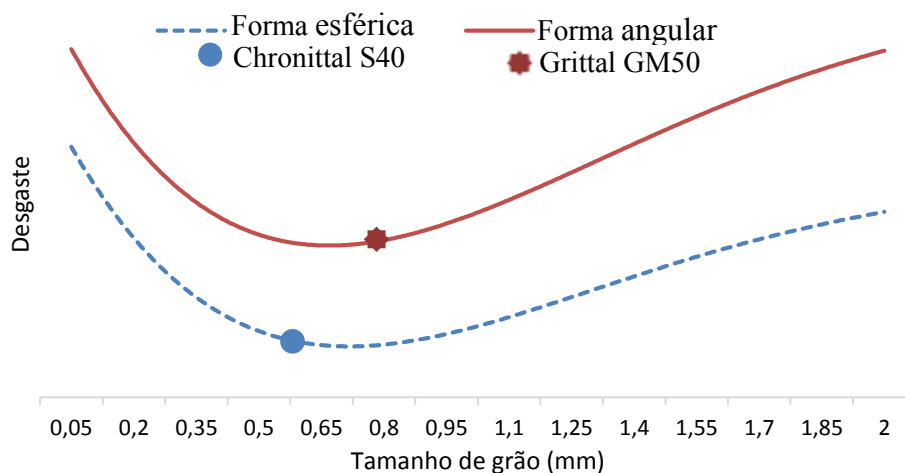


Figura 5.3. Influência da forma e do tamanho de grão da granalha no desgaste dos componentes do jato

Atualmente são consumidas duas qualidades de granalha: a mais utilizada é a Chronittal S40 e, esporadicamente, a Grittall GM50 (Figura 5.4). As especificações técnicas encontram-se na Tabela 5.4.

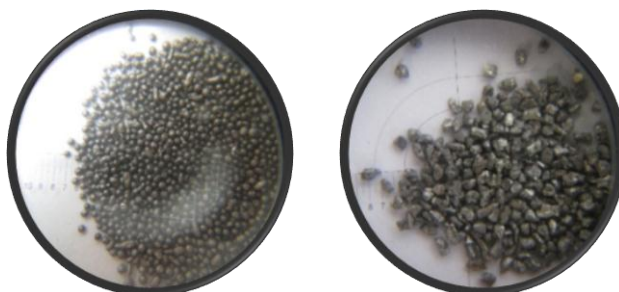


Figura 5.4. Granalha Chronittal S40 (esquerda) e Grittall GM50 (direita)

Tabela 5.4. Características da granalha utilizada no processo de jatear

	Chronittal S40	Grittall GM50
Diâmetro (mm)	0.40 – 0.80	0.60 – 1.00
Forma	Esférica	Angular
Comp. Química	C \approx 0.17%; Cr \approx 18%; Ni \approx 10%	C \approx 2%; Cr = 30 - 33%
Densidade (g/cm³)	\approx 4.7	\approx 4.1
Dureza (HV)	\approx 300	\approx 660
Microestrutura	Austenítica	Δ -Ferrite com Cr ₃ C ₂

No passado, era mais utilizada a qualidade Grittall GM50, razão pela qual havia muito maior desgaste dos componentes da máquina.

5.7. Análise de vibrações dos motores

Através da análise de vibrações dos motores, é possível detetar uma possível falha antes de esta ocorrer, atuando na sua prevenção. Por este motivo, procedeu-se a esta análise nos motores do jato (Tabela 5.5), da qual resultaram valores anormais no elevador de canecos (segundo a norma ISO 10816-3), confirmando-se a necessidade da sua substituição e melhoria da fixação.

Tabela 5.5. Valores resultantes da análise de vibrações dos motores do jato

	Turbina 1		Turbina 2		Turbina 3		Turbina 4		Parafuso sem-fim		Elevador canecos
	Axial	Vertical	Axial	Vertical	Axial	Vertical	Axial	Vertical	Axial	Vertical	Vertical
Velocidade de vibração (mm/s)	1,6	0,7	3,4	2,2	2,1	1,3	0,9	1,0	0,9	0,0	7,1
Leitura de vibração (gE)	1,71	0,72	0,72	0,44	0,51	0,50	0,54	0,42	0,21	0,00	1,26
Temperatura (°C)	24,5	32,9	27,2	32,7	26,5	29,6	27,5	29,2	27,3	33,7	41,7

5.8. Diagrama Spaghetti

O diagrama de Spaghetti é uma ferramenta que permite estabelecer o layout ideal de um determinado espaço, através da análise dos percursos efetuados pelo material. O objetivo é reduzir as distâncias e os tempos de deslocação, que não acrescentam qualquer valor ao produto. Na Figura 5.5 encontram-se os deslocamentos efetuados pelo material no processo de jatear.

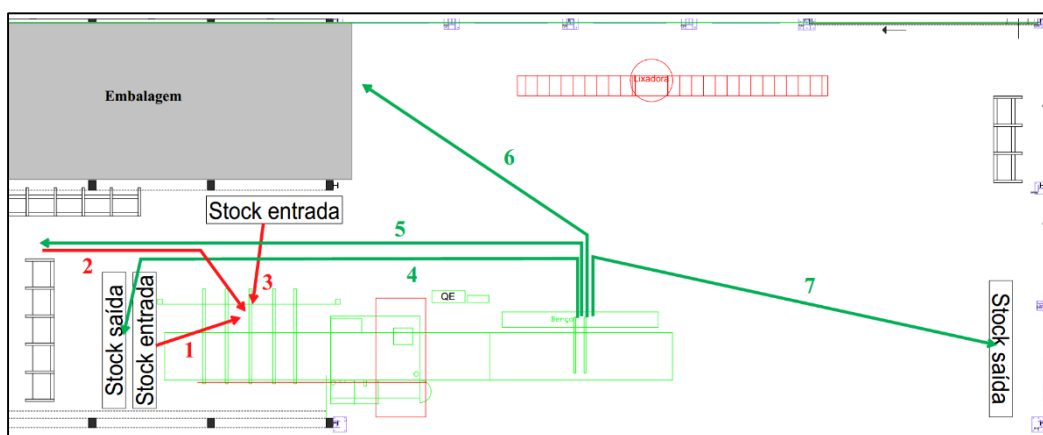


Figura 5.5. Diagrama Spaghetti do jato

Como se pode verificar, as maiores deslocações ocorrem com o material já jateado, sendo que este pode ter vários destinos. Na Tabela 5.6 podem ver-se as origens e destinos do material, bem como a forma em que o seu transporte é feito.

Tabela 5.6. Deslocamentos do material no jateamento

Nº	Origem	Destino	Forma de transporte
1	Stock de entrada	Mesa de carga	Ponte rolante
2	Reparação	Mesa de carga	Ponte rolante
3	Stock de entrada	Mesa de carga	Ponte rolante
4	Mesa de descarga	Stock de saída (estiragem 1)	Porta-paletes + carro de descarga + ponte rolante
5	Mesa de descarga	Reparação / embalagem	Porta-paletes + carro de descarga + ponte rolante
6	Mesa de descarga	Embalagem	Porta-paletes + empilhador
7	Mesa de descarga	Stock de saída (estiragem 2)	Porta-paletes + empilhador

Em relação às distâncias percorridas, considera-se que já se encontram a um nível bastante bom, sendo difícil a sua melhoria. No entanto, existem lacunas no que toca à forma de transporte, nomeadamente nos movimentos 4, 5, 6 e 7. Isto deve-se ao facto de a ponte rolante apenas chegar até à mesa de carga do jato.

5.9. Pontos críticos

Concluída a fase de análise, verifica-se que existem diversos pontos que necessitam de ser alvo de melhorias, nomeadamente:

- Elevador de canecos
- Sem-fim
- Chapas interiores do jato
- Forma de transporte dos atados jateados
- Tempos de reparação
- Mesa de carga
- Consumo de granalha
- Histórico de avarias

6. FASE MELHORAR

6.1. Brainstorming

No decorrer do presente projeto, foi realizada uma sessão de *brainstorming*, que consistiu na recolha e discussão de ideias de melhoria entre os colaboradores do equipamento de jatear, o responsável do setor e o autor da presente dissertação.

Todas as sugestões foram escritas em cartões de várias cores, cada uma tendo um significado:

- Laranja – Mais importante (3 pontos)
- Amarelo – Importante (2 pontos)
- Verde – Menos importante (1 ponto)

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1. Resultados da sessão de brainstorming

Nº	Ideia	Pontuação
1	Automatizar e melhorar bancada de carga	11
2	Ponte rolante ao longo de todo o jato	11
3	Automatizar e melhorar bancada de descarga	8
4	Organização da zona de <i>stock</i> de entrada	6
5	Formação de empilhadores	3
6	Sensor para parar barras no final do transportador	3

Os resultados foram colocados numa matriz (Figura 6.1), para que fossem tidos em conta os fatores custo e urgência das propostas. Assim, quanto maior o diâmetro do círculo, maior a urgência da melhoria correspondente.

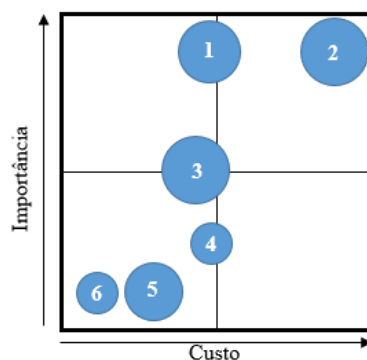


Figura 6.1. Matriz importância vs. custo

6.2. Melhorias propostas

6.2.1. Melhorias focalizadas

6.2.1.1. Colocação de acrílico no elevador de canecos

Através da substituição de uma chapa por uma tampa de acrílico (Figura 6.2) é possível visualizar o elevador de canecos do jato em funcionamento, o que permite detetar possíveis avarias antes da sua propagação. Tendo em conta o desgaste natural a que o acrílico estará sujeito, é recomendado que exista em *stock* um acrílico para substituição.



Figura 6.2. Aplicação de acrílico no elevador de canecos

6.2.1.2. Identificação de avarias

De forma a reduzir o MTTR, foi criado um sistema de identificação visual que consiste na colocação de um íman vermelho no local onde existe uma avaria (Figura 6.3). Assim, a equipa de manutenção não necessita de despender tempo à procura desta.



Figura 6.3. Identificação de avarias

6.2.1.3. Alteração do botão de emergência

No local em que o botão de emergência se encontrava, era comum o colaborador o pressionar sem intenção, atrasando o processo. Assim, o botão foi colocado num local onde há menor probabilidade de que esta situação ocorra, mas igualmente com fácil acesso.



Figura 6.4. Alteração do botão de emergência do jato

6.2.1.4. Envolvimento dos colaboradores

Para aumentar o sentimento de propriedade do equipamento, foi dada oportunidade aos colaboradores de darem as suas sugestões de melhoria, colocando-se uma folha (Figura 6.5) junto aos seus postos de trabalho.

BOLLINGHAUS STEEL		TPM Jato				Total Productive Maintenance	
Sugestões de Melhoria							
Nº	DATA	COLABO- RADOR	SUGESTÃO	EXECUT.		OBSERVAÇÕES	RÚBRICA RESP.
				S	N		
1	/ /					○	
2	/ /					○	
3	/ /					○	
4	/ /					○	
5	/ /					○	
6	/ /					○	
7	/ /					○	
8	/ /					○	
9	/ /					○	

Figura 6.5. Folha para sugestões de melhoria

6.2.1.5. Eliminação de fugas de granalha

Um dos pontos de fuga de granalha era a porta do jato, devido à falta de borrachas (Figura 6.6). Após a aplicação destas e de uma chapa de proteção, não se voltaram a verificar fugas nesse local.

Foram ainda substituídos os tubos de duas das turbinas do jato, dado o seu elevado estado de degradação (Figura 6.7).



Figura 6.6. Borrachas da porta do jato

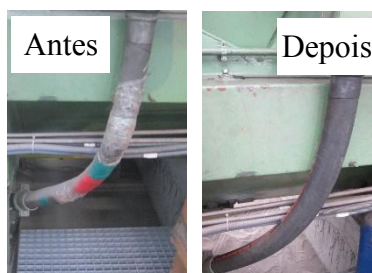


Figura 6.7. Tubo da turbina nº 1 do jato

6.2.2. Manutenção planeada

6.2.2.1. Lista de operações a realizar

Sabendo que o equipamento de jatear sofre operações de manutenção uma vez por semana, foi criada a rotina de comunicar as operações mais críticas a efetuar na paragem, através de documentos com fotos dos locais exatos que serão alvo de manutenção (Figura 6.8).

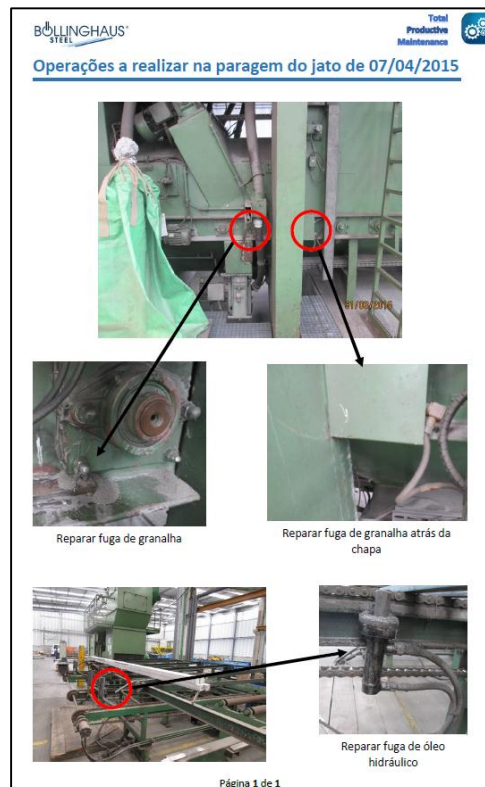


Figura 6.8. Lista de operações a realizar nas paragens planeadas

6.2.3. Manutenção autónoma

6.2.3.1. Instruções de manutenção

Sendo este um dos pontos mais importantes da TPM, foram criadas diversas instruções de manutenção autónomas, sendo a maior parte delas apenas de inspeção visual (APÊNDICE D). Foi ainda definido que estas serão executadas maioritariamente no turno de segunda-feira das 5 às 13 horas.

Por fim, é importante a criação de folhas de verificação para que exista um controlo da execução das instruções de manutenção definidas.

6.2.3.2. Ferramentas para pequenas reparações

De modo a possibilitar que os colaboradores do jato efetuem pequenas reparações no equipamento, é fundamental que lhes sejam fornecidas as ferramentas necessárias. Assim, foi efetuada uma listagem do material a ser alocado ao jato, nomeadamente em termos de chaves de fenda, phillips, de bocas, hexagonais e inglesa.

Com esta melhoria, os colaboradores não necessitam de se deslocar até ao armazém de manutenção para efetuar operações de reparação simples.

6.2.3.3. Normalização das chapas interiores

Atualmente, quando é necessário reparar fissuras no interior do jato, são realizadas soldaduras ou colocam-se chapas sobrepostas às existentes. Como consequência, a espessura das paredes aumenta cada vez mais, diminuindo a largura de jateamento.

De modo a resolver este problema, propõe-se que sejam desenhadas chapas normalizadas que sejam fixas com parafusos e não soldadas. Desta forma, quando ocorrer uma fissura, substitui-se por uma chapa nova, resolvendo-se três problemas em simultâneo: a dificuldade de soldar no interior da máquina, o tempo de corte de chapas à medida das fissuras e a redução da largura e ângulos de jateamento. Esta solução encontra-se ainda em fase de desenvolvimento.

6.2.4. Gestão inicial do equipamento

6.2.4.1. Motor do sem-fim

Não estando relacionado com o início de vida do equipamento, a fixação do motor do parafuso sem-fim do jato ao chão foi um ponto que favoreceu bastante as condições de funcionamento do mesmo. Após efetuar esta alteração, o número de avarias diminuiu substancialmente.

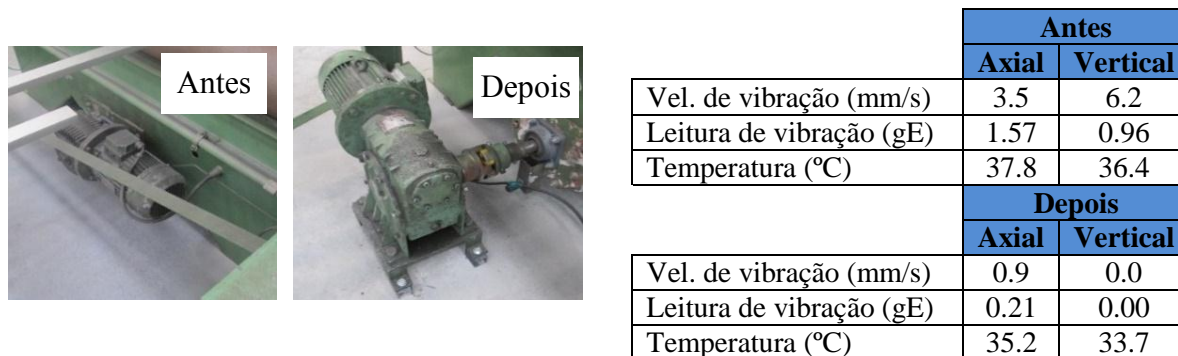


Figura 6.9. Alteração do motor do sem-fim e valores de vibrações respetivas

6.2.5. Manutenção para a qualidade

6.2.5.1. Nova mesa de carga

Um dos principais problemas identificados pelos colaboradores do jato centra-se na mesa de carga. As barras caem por gravidade para as correntes de carga, causando defeitos nestas e problemas a nível ergonómico para os colaboradores. Assim, foi estudada uma nova solução para colocar as barras no transportador, que permite reduzir a incidência destes pontos, onde as barras são colocadas numa plataforma que desce com o auxílio de um sistema pneumático (Figura 6.10).

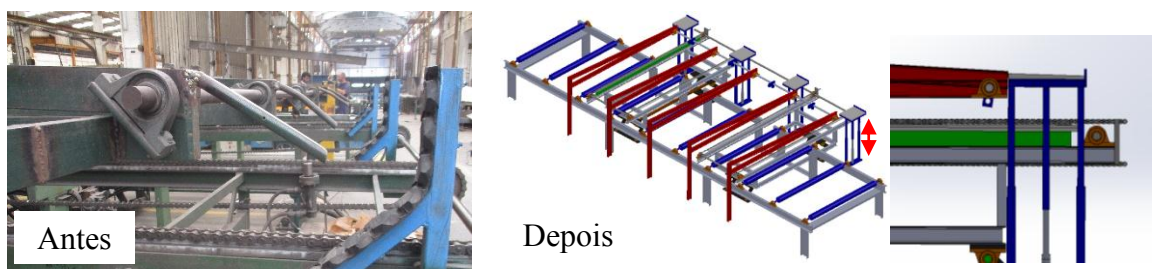


Figura 6.10. Mesa de carga do jato com plataformas elevatórias

6.2.5.2. Braços de descarga do jato

A saída das barras do jato é um dos fatores que causa alguns defeitos nas barras, riscando-as. Para resolver este problema, foi proposto o revestimento dos braços de descarga com *nylons*.

Outra das preocupações da saída do jato é o elevado número de vezes que os braços se partem devido ao impacto das barras. A solução passa por permitir que o braço oscile com o peso destas dentro de um tubo soldado na chapa existente no chão, contendo uma mola no interior de forma a absorver a energia do impacto (Figura 6.11).



Figura 6.11. Braços de descarga do jato

6.2.6. Gestão administrativa

6.2.6.1. Histórico de avarias

A única forma de conseguir uma boa gestão do *stock* de peças suplentes e da manutenção planeada é através de um histórico de avarias fidedigno. Para facilitar este processo, sugere-se que as atuais fichas de intervenção sejam substituídas pelo lançamento de pedidos de intervenção diretamente no *software* de manutenção (Figura 6.12). Esta solução encontra-se atualmente em fase de testes na empresa.

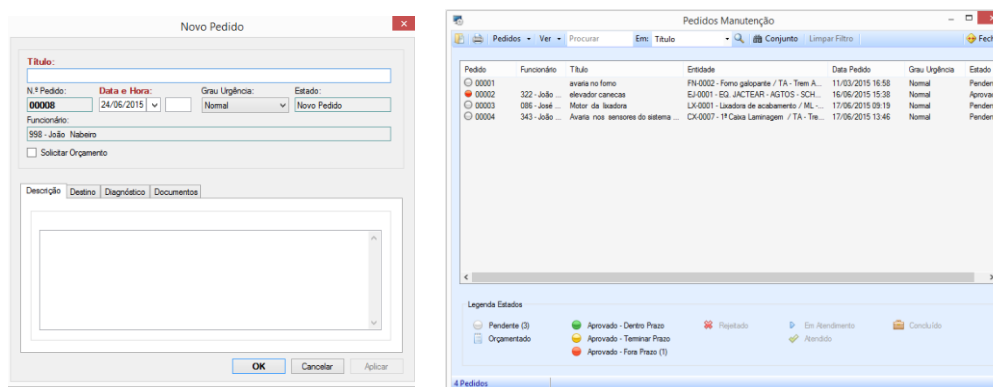


Figura 6.12. Pedido de intervenção (esquerda) e receção dos pedidos na manutenção (direita)

6.2.7. Ambiente e segurança

6.2.7.1. Nova bancada de trabalho

No âmbito da melhoria das condições de trabalho dos colaboradores, foi desenhada uma nova bancada de trabalho (Figura 6.13), adaptada às necessidades destes em termos ergonómicos, com cacifos para que possam guardar os seus objetos pessoais, gavetas para guardar as ferramentas necessárias a pequenas operações de manutenção e espaço para colocar as informações relativas à TPM.



Figura 6.13. Nova bancada de trabalho

6.2.7.2. Saída dos atados do jato

Outro fator de melhoria das condições de trabalho passava pela aquisição de um rebocador para o carro de transporte dos atados que saem do jato (Figura 6.14). Esta solução foi testada no chão de fábrica mas tornou-se inviável por dois motivos: o elevado custo e a baixa autonomia da bateria.



Figura 6.14. Rebocador para o carro de transporte dos atados

Uma alternativa ao rebocador consiste em adquirir uma ponte rolante até à mesa de descarga do jato, permitindo reduzir o elevado esforço dos colaboradores. Esta é uma solução que se encontra em fase de estudo devido à necessidade de deslocalizar a máquina de estiragem Dhaulius.

6.2.8. Formação e treino

6.2.8.1. Análise granulométrica à granalha

Até à implementação da TPM, apenas um dos colaboradores do jato possuía competência para realizar esta análise, pelo que foi dada formação aos restantes, de modo a haver uma melhor distribuição de tarefas pelos vários turnos.

6.2.8.2. Análise de vibrações dos motores

Através desta análise é possível detetar uma possível falha, atuando na sua prevenção. Neste sentido, foi dada formação aos colaboradores, acerca do funcionamento do medidor de vibrações (Figura 6.15) e dos pontos de medida.

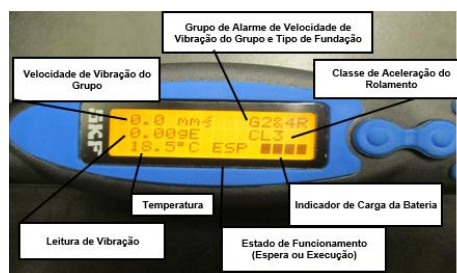


Figura 6.15. Medidor de vibrações

6.2.8.3. Manutenções de 1º nível

Para que seja possível reduzir a carga de trabalho da equipa de manutenção, é necessário que seja dada formação acerca dos procedimentos de reparações simples aos colaboradores que operam nos equipamentos. A título de exemplo, pode ser referida a formação dada acerca das ações a realizar caso as roldanas do contrapeso da porta hidráulica do jato estejam desalinhasadas.

6.2.9. Outras melhorias

6.2.9.1. Manual do colaborador

O manual do colaborador (APÊNDICE E) foi um projeto desenvolvido tendo em vista a diminuição da variabilidade dos processos, o conhecimento dos procedimentos da empresa, e a rápida integração dos novos colaboradores.

6.2.10. Custos e tempos de retorno

Na Tabela 6.2 são apresentados os valores correspondentes aos custos das principais melhorias propostas, bem como os respetivos tempos de retorno do investimento.

Tabela 6.2. Custos e tempos de retorno das melhorias propostas

Descrição	Custo	Tempo de retorno
Colocação de acrílico no elevador de canecos	20 €	2.5 meses
Alteração do botão de emergência	35 €	11 meses
Colocação de borrachas nas portas	50 €	5.5 meses
Substituição dos tubos de duas turbinas	100 €	11.1 meses
Ferramentas para pequenas reparações	70 €	7.8 meses
Fixação do motor do sem-fim	120 €	3.3 meses
Nova mesa de carga do jato	3 000 €	14.8 meses
Braços de descarga do jato	650 €	14.4 meses
Módulo do <i>software</i> de manutenção para tablets	1 500 €	13.3 meses
Ponte rolante	31 134 €	5.7 anos*

* O tempo de retorno da ponte rolante será mais baixo, uma vez que servirá de apoio a mais equipamentos além do jato. O valor apresentado refere-se ao uso exclusivo pelo jato.

A nova bancada de trabalho e o manual do colaborador têm um custo de 2 450 € e 500 €, respetivamente, sendo os seus ganhos são qualitativos. Deste modo, não é fácil calcular os tempos de retornos dado que os benefícios não são facilmente quantificáveis.

6.3. Resultados obtidos

6.3.1. OEE

Procedendo da mesma forma que na fase definir, o valor do OEE foi recalculado (análise a três turnos), tendo-se obtido os resultados apresentados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3. Valores para recálculo do OEE

Descrição	Valor
Duração dos turnos	1440 minutos (24 horas)
Paragem para lanche (por turno)	30 minutos
Paragem para limpeza (por turno)	30 minutos
Paragens não planeadas	331 minutos
Capacidade produtiva máxima	85 kg/min
Total produzido	51 870 kg
Total rejeitado	1 133 kg

Com os dados da tabela anterior, foram calculados os tempos de produção planeado (1 260 minutos) e real (929 minutos), bem como a quantidade produzida sem defeitos (50 737 kg). Com estes valores é possível obter o valor da OEE (Tabela 6.4).

Tabela 6.4. Cálculo OEE

Fator	Valor OEE	
Disponibilidade	0.7373	73.73 %
Desempenho	0.6569	65.69%
Qualidade	0.9782	97.82%
Rendimento Global	0.4737	47.37%

6.3.2. MTTR + MWT

Após a análise dos dados relativos a 30 dias de produção do jato, foi possível retirar a informação referente às avarias ocorridas nesse período (Tabela 6.5).

Tabela 6.5. Tempos de reparação dos 30 dias analisados

Nº	Tipo de avaria	TTR + WT (horas)
1	Elétrica	0.5
2	Ponte rolante	0.8
3	Ponte rolante	0.5
4	Lateral e fundo de turbina furados	1.5
5	Ponte rolante	2.5
6	Não identificada	0.5
7	Falta de ar comprimido	1.1
8	Elevador de canecos	3.0
9	Comando da ponte rolante	2.6
MTTR + MWT		1.4

6.3.3. Nível sigma

Procedendo da mesma forma que a utilizada na fase medir, foi calculado o nível sigma, desta vez para um período de análise de 30 dias, sendo que em oito destes o jato teve de parar pelo menos uma vez devido a avarias. Assim, o valor de DPMO para este intervalo foi de 266 667, ao qual corresponde um nível sigma de 2.12.

6.3.4. Custo da granalha

Cruzando os dados relativos à produção do jato, com o consumo de granalha e o custo desta, é possível obter o valor do custo de granalha por tonelada de aço jateado, num período de 30 dias (Tabela 6.6).

Tabela 6.6. Custo da granalha num período de 30 dias

Produção	1295 toneladas
Granalha consumida	1375 kg
Custo da granalha	5541.25 €
Custo por tonelada de aço	4.28 €/tonelada

6.3.5. Custo das peças de substituição

Após o início da utilização de granalha de geometria esférica, verificou-se uma diminuição bastante significativa do desgaste da máquina. Deste modo, diminuíram as paragens do equipamento devidas a avaria, bem como os gastos em peças de substituição. Quanto a estes últimos, foi conseguida uma diminuição na ordem dos 89 %, de 8.9 € / tonelada de aço jateado para 1.0 € / tonelada.

6.3.6. Tempo médio de paragem do transportador

Analisando os tempos de paragem relativos aos turnos acompanhados, pode constatar-se que a sua média aumentou para os 122 segundos, devido à aquisição de mais bancadas de reparação que compartilham a mesma ponte rolante com o jato, aumentando a sua taxa de ocupação. Deste modo, encontra-se menos tempo disponível para o jato, refletindo-se no aumento dos tempos de espera.

Apesar disso, se a análise for feita apenas aos tempos relativos às paragens para a descarga das barras para o carro de transporte (tempos internos), verifica-se uma redução de 52 para 45 segundos (14 %).

6.3.7. Síntese dos resultados

Na Tabela 6.7 é feita a comparação entre o estado inicial, os objetivos definidos e os resultados atingidos.

Tabela 6.7. Resultados atingidos com o projeto

Indicador	Inicial	Meta	Atingido
OEE	28.86 %	43.29 %	47.37 %
MTTR + MWT	3.1 horas	1.6 horas	1.4 horas
Nível sigma	1.84	3.42	2.12
Custo granalha	20 €/ton	10 €/ton	4.28 €/ton
Custo peças de substituição	8.9 €/ton	2.2 €/ton	1.0 €/ton
Tempo médio de paragem do transportador	119 seg.	100 seg.	122 seg.

7. FASE CONTROLAR

Nesta última etapa do projeto, pretende-se consolidar e sistematizar as ações implementadas na fase anterior. Nesse sentido, foram criadas *checklists* (Figura 7.1) onde os colaboradores verificam quais as operações de manutenção que têm de realizar no seu turno e rubricam após a sua conclusão.

	Data		Data		Data		Data		Data	
	03/jul		10/jul		17/jul		24/jul		31/jul	
	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK
Limpeza e arrumação das ferramentas										
Limpeza da CD2										
Limpeza máquina de corte										
Limpeza máquina lavagem										
Limpeza do piso										
Limpeza das escadas										
Limpeza do pré-coating										
Limpeza dos quadros informativos										
Arrumação do material de limpeza										
Responsável										

Figura 7.1. Checklist de limpezas semanais da estiragem

Para que seja feita uma verificação do cumprimento das ações definidas, é necessária a realização de auditorias. A partir destas, serão afixados gráficos de controlo dos vários setores, com o objetivo de estimular os colaboradores a darem o seu melhor e a contribuírem para a melhoria da imagem e bom funcionamento da sua máquina ou setor.

De modo a criar uma forma de controlo fiável, foi proposto que, sempre que seja necessário recorrer aos serviços da equipa de manutenção, deve ser preenchida uma ficha ou pedido de intervenção. Assim, existe a certeza que será dado o devido seguimento ao processo, ao mesmo tempo que é criado um histórico fidedigno da máquina. Com o mesmo objetivo, deve ser criado um registo de todas as manutenções de primeiro nível efetuadas pelos colaboradores.

Deve ser nomeado um responsável por, semanalmente, elaborar a lista de operações a realizar na paragem para manutenção do equipamento de jatear.

Em relação às análises de granulometria da granalha e das vibrações dos motores, os resultados devem ser controlados e aplicadas medidas preventivas ou corretivas, caso necessário.

Por fim, é também importante que seja dado seguimento às propostas de aquisição da ponte rolante, da alteração mesa de carga e da normalização das chapas interiores do jato, bem como das melhorias que os colaboradores possam sugerir.

7.1. Evolução da produção

Como já foi referido, a nova máquina de estiragem entrou em funcionamento no mês de Março do presente ano. Além disso, a partir do mês de Maio, todos os aços laminados começaram a ser decapados mecanicamente. Como resultado, o equipamento de jatear foi obrigado a aumentar a sua produção, como se pode verificar na Figura 7.2.

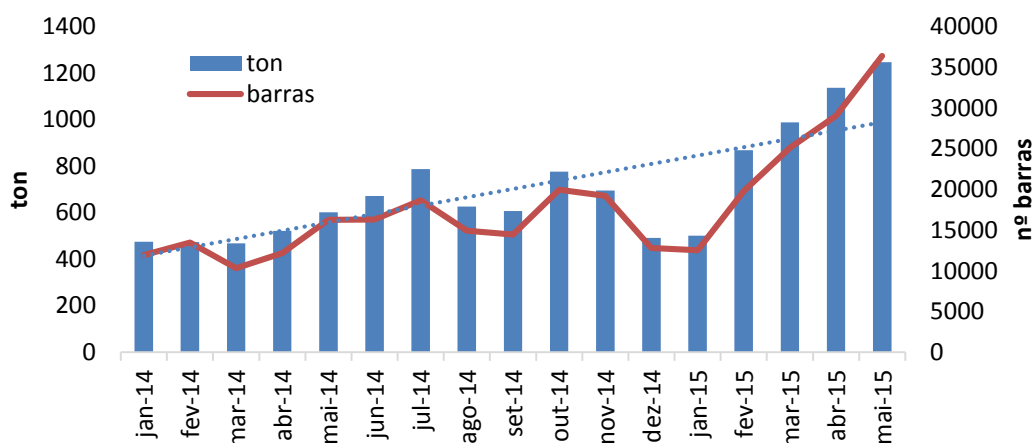


Figura 7.2. Gráfico da evolução da produção do jato

Para conseguir atingir estes níveis de produção, foi necessário acelerar o processo, aumentando a velocidade de passagem. Deste modo, foram controladas várias velocidades, considerando os requisitos necessários para a estiragem e o acabamento superficial dos perfis laminados (inspeção visual), tendo-se chegado aos valores apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1. Novas velocidades de passagem no jato

Tipo	Velocidade (m/min)
Aço laminado para embalar	1.2
Aço para estirar	0.8

8. CONCLUSÕES

Perante a realidade atual do mundo industrial, é impensável que as empresas não evoluam, quer em termos de inovação de processos, níveis de qualidade, novos produtos ou novos mercados. Ficar parado significa perder vantagem competitiva para as empresas concorrentes. É neste âmbito que se inserem os projetos de melhoria contínua, neste caso a TPM.

A manutenção produtiva total permite diminuir o número de paragens não planeadas dos equipamentos, aumentar o seu tempo de vida e dos seus componentes, permitindo aumentar as taxas de produção.

Relativamente aos resultados já alcançados, registou-se:

- Aumento do OEE de 28.86% para 47.37%, através do aumento da disponibilidade operacional, desempenho e qualidade dos produtos produzidos no equipamento de jatear;
- Redução do tempo médio de reparação de 3.1 horas para 1.4 horas, essencialmente através da eliminação de tempos de espera e procura de ferramentas;
- Aumento do nível sigma de 1.84 para 2.12, o que equivale a uma diminuição do número de dias com paragens por avaria de 134 para 98 por ano;
- Redução do custo de granalha de 20 € / tonelada para 4.28 € / tonelada de aço jateado, devido à eliminação de grande parte dos pontos de fuga existentes;
- Redução do custo de peças de substituição de 8.9 € / tonelada para 1.0 € / tonelada, uma vez que a granalha utilizada atualmente reduziu significativamente o desgaste do equipamento e seus componentes.

Os valores atingidos têm todo o potencial para serem melhorados através da implementação das propostas que se encontram ainda em fase de análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assis, Rui. 2014.** *Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Ativos Físicos*. Lisboa : Lidel, 2014.
- Bertho, Audrey. 2013.** 5S - Trabalho em equipe, benefício para todos. *JAB Consultoria*. [Online] 25 de Fevereiro de 2013. [Citação: 12 de Junho de 2015.] <http://www.jabconsultoria.com.br/gestao/5s-trabalho-em-equipe-beneficio-para-todos/>.
- Böllinghaus Steel. 2011.** Stainless steel: One material – unlimited options. [Online] 2011. [Citação: 11 de Março de 2015.]
- . 2011. Steel in its finest form. [Online] 2011. [Citação: 10 de Março de 2015.]
- BP Biocombustíveis. 2012.** 5S – Senso de Seleção. [Online] 23 de Março de 2012. [Citação: 12 de Junho de 2015.]
- Buthmann, Arne. 2012.** Cost of Quality: Not Only Failure Costs. [Online] 2012. [Citação: 05 de Março de 2015.] <http://www.isixsigma.com/implementation/financial-analysis/cost-quality-not-only-failure-costs/>.
- Cabral, João Paulo Saraiva. 2006.** *Organização e Gestão da Manutenção - Dos conceitos à prática*. Lisboa : Lidel, 2006.
- Castro, Ricardo Anselmo. 2013.** *Lean Six Sigma - Para Qualquer Negócio*. Lisboa : IST Press, 2013.
- CENERTEC. 2014.** Seminário Limpar, Arrumar e Organizar as Empresas Industriais... 5S. 2014.
- Dave Barry Plastics.** BioPharma Plastic Products. [Online] [Citação: 11 de Março de 2015.] <http://davebarryplastics.com/biopharma-plastic-products/>.
- Dillon, Adrew. 1996.** *TPM for Every Operator*. New York : Shopfloor Series - Productivity Press, 1996.
- EPO INNOVATION.** O que é seis sigma? [Online] [Citação: 04 de Março de 2015.] <http://epo-innovation.com/hvad-er-six-sigma-2/>.
- Farias, Marcos Paulo. 2011.** Treinamento do Sistema 5 S Qualidade de Vida. *Mp. Logística*. [Online] 5 de Janeiro de 2011. [Citação: 2015 de Junho de 2015.] <http://logisticamanaus.blogspot.pt/2011/01/sistema-5-s-qualidade-de-vida.html>.
- Ferreira, L., Silva, C. and Mesquita, C. 2013.** Using the Six Sigma DMAIC Methodology to Improve an Internal Logistic Process. [book auth.] Américo Azevedo. *Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems*. Switzerland : Springer International Publishing, 2013.
- Freitas, Eder Benevides de. 2009.** T.P.M. - Manutenção Produtiva Total. [Online] 15 de Maio de 2009. [Citação: 17 de Fevereiro de 2015.] <http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.pt/2009/05/tpm-manutencao-produtiva-total.html>.
- Guimarães, Miguel e Araújo, Miguel. 2011.** Workshop Lean + Time Driven Activity Based Costing. [Online] Maio de 2011. [Citação: 11 de Junho de 2015.] <http://pt.slideshare.net/copenhaga/workshop-lean-time-driven-activity-based-costing>.

Gupta, Praveen e Sri, Arvin. 2012. *Seis Sigma - Virtualmente sem Estatística*. Porto : Vida Económica, 2012.

Norte, Pedro M. G. P. 2011. Utilização da Metodologia Six Sigma no Âmbito da Formação em Manutenção Aeronáutica. s.l. : Universidade Nova de Lisboa, 2011.

Pinto, João Paulo. 2013. *Manutenção Lean*. Lisboa : Lidel, 2013.

—. 2009. *Pensamento Lean - A filosofia das organizações vencedoras*. Lisboa : Lidel, 2009.

Sampaio, Adrian. TPM/MPT - Manutenção Produtiva Total. [Online] [Citação: 17 de Fevereiro de 2015.] <http://www.mantenimentomundial.com/sites/mm/notas/TPMtotal.pdf>.

Teixeira, Pedro F. C. 2014. *Análise e Otimização dos fluxos e processos do setor de desempenho numa empresa de produção de perfis de aço*. s.l. : Universidade de Coimbra, 2014.

Terry, Kirsten. Sigma Performance Levels – One to Six Sigma. [Online] [Citação: 05 de Março de 2015.] <http://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/sigma-level/sigma-performance-levels-one-six-sigma/>.

APÊNDICE B – ANÁLISE FMEA DO JATO

Processo	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	S e v	Causas potenciais	O c o	Meios de controle	D e t	N P R	Ações recomendadas
Planeamento	Falta de aço para jatear	Paragem da máquina	3	Mau planeamento	8	Visual; Registos de produção	4	96	Criar planos para meio turno, de forma a otimizar a utilização do equipamento
Carregamento das barras	Sensor não deteta as barras	Atraso no processo; esforço do colaborador	5	Sensores mal posicionados	8	Tentativa e erro	4	160	Colocar sensores mais próximos das barras
Carregamento das barras	Mesa de carga empenada	Atraso no processo; esforço do colaborador	5	Apoios da mesa soltos	5	Visual	5	125	Fixar apoios da mesa ao chão
Jateamento	Falta de aço para jatear	Paragem da máquina	3	Engarrafamento no setor anterior	8	Visual; Registos de produção	4	96	Criar planos para meio turno, de forma a otimizar a utilização do equipamento
Jateamento	Desgaste das chapas interiores	Degradação da máquina; paragens não planeadas	7	Projeção de granalha	7	Visual	4	196	Testar materiais mais resistentes à projeção
Jateamento	Desgaste das palhetas	Degradação da máquina; paragens não planeadas	7	Projeção de granalha; tempo processo; tipo de material	6	Visual; Auditivo	4	168	Revestir palhetas com polímeros de alta densidade
Jateamento	Fugas de granalha	Aumento dos custos por tonelada de aço processado	5	Degradação da máquina	9	Visual	5	225	Criar IM para limpeza da máquina para facilitar a deteção das fugas e IM para inspeção visual pelos colaboradores

Processo	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	Sev	Servas	Causas potenciais	Oco	Meios de controle	Det	NP	Ações recomendadas
Elevação da granalha	Avaria no elevador	Paragem da máquina	8	6	Excesso de granalha; Vibração do motor	6	Térmico da máquina	9	432	Análise de vibrações do motor; Colocar acrílico para inspeção visual do elevador em funcionamento
Elevação da granalha	Avaria no sem-fim	Paragem da máquina	8	5	Excesso de granalha; Vibração do motor	5	Visual	9	360	Análise de vibrações do motor
Descarga das barras	Quebra dos braços de descarga Barras presas na chapa de proteção das correntes	Descarga manual; paragem da máquina Esforço excessivo do colaborador; Atraso no processo	6	5	Mau dimensionamento dos braços Chapa mal posicionada	5	Físico	9	270	Criar nova solução para mesa de descarga Reposicionar a chapa para que as barras não fiquem presas
Transporte das barras jateadas	Esforço excessivo dos colaboradores	Atraso no processo; Falta de colaboradores	8	9	Falta de ponte rolante até à mesa de descarga	9	Visual	4	288	Alargar alcance da ponte até à mesa de descarga

APÊNDICE C – RELATÓRIO A3



Relatório A3

Título/Tema: Paragem do Jato Por Avaria Do Motoredutor Do Elevador De Canecas **Data:** 01/04/2015 **Autor:** JNabeiro



6. Método

- Solucionar Potenciais Problemas
- Avaliar o Impacto das Soluções Implementadas
- Melhorar Diagnóstico de Avaria

1. Condição inicial e definição do problema
 Falta de métodos preventivos eficientes
 Elevado tempo de reparação (21,5 horas)
 Baixo MTBF (14,6 dias)

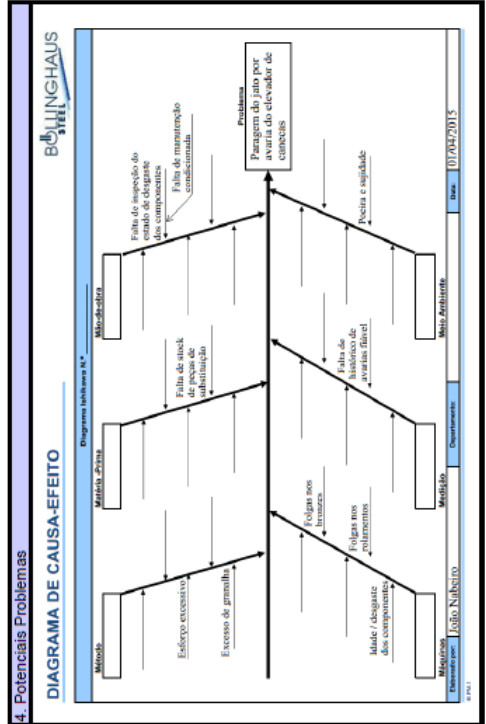
2. Membros da equipa
 João Nabeiro
 Nélio Mourato
 João Gaspar
 Sílvio Carreira

3. Meta e objetivos
 Eliminação das avarias do motoredutor do elevador de canecas

8. Plano de implementação e acompanhamento

O quê?	Responsável?	Quando?	Onde?	Quanto?	Estado
Criar IM's para análises de vibrações	A. Santos	17/04/2015	Motoredutor do elevador de canecas		●
Preencher fichas de intervenção	João Nabeiro	20/04/2015	Jato	--	●
Introduzir informação das fichas de intervenção no MWW	J. Gaspar	22/04/2015		--	●
Verificar vida útil do motoredutor e planear nova encomenda	João Nabeiro	04/05/2015	Manual de especificações	--	○
Fixar motor	Sílvio Carreira		Jato	--	○

9. Sumário de resultados



APÊNDICE D – INSTRUÇÕES DE MANUTENÇÃO

INSTRUÇÃO DE MANUTENÇÃO		DATA EMISSÃO	13/04/2016	Modelo	1/1
REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	PROCESSO	VERIFICAR ESTADO CORRENTE	 Total Productive Maintenance	
Nº	OPERAÇÃO	OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	DESENHOS/FOTOGRAFIAS...
		OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	DESENHOS/FOTOGRAFIAS...
		OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	DESENHOS/FOTOGRAFIAS...
1	Verificar Estado Correntes	OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	
		OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	
		OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	
		OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	
		OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	
		OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	
		OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	
		OPERADOR	QUALIDADE	REVISÃO	

Responsável:
Colaboradores Turno das 05h-13h quinzenalmente à segunda-feira

APÊNDICE E – MANUAL DO COLABORADOR

