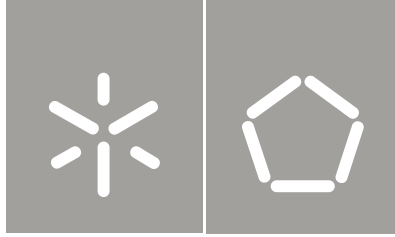




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Carlos Ferreira Pinto de Freitas

Organização e melhoria do desempenho do
centro de manutenção de apoio às linhas de
montagem de autorrádios



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Carlos Ferreira Pinto de Freitas

Organização e melhoria do desempenho do
centro de manutenção de apoio às linhas de
montagem de autorrádios

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professora Doutora Isabel Lopes
Professor Doutor Eusébio Nunes

Outubro de 2012

Agradecimentos

O desenvolvimento e conclusão deste projeto só foram possíveis graças ao apoio infindável de diversas pessoas. Aqui fica o mais sincero agradecimento.

Quero agradecer a todos os elementos com quem convivi na Delphi, por toda a disposição, bom ambiente e aprendizagem que me proporcionaram. Um especial agradecimento aos Engenheiros Vitor Cunha, Joel Nunes e Batista Silva.

Aos professores Isabel Lopes e Eusébio Nunes pelo constante apoio e rigorosa orientação, pois que sem eles não me teria sido exequível a realização deste projeto.

Por fim, aos meus pais e amigos, que nunca cessaram de me apoiar, auxiliar e de acreditar em mim.

A todos, um muito obrigado.

Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido tendo como base a criação de um centro de apoio às tarefas de manutenção (CAP) na empresa Delphi Automotive Systems Portugal, em Braga.

A pesquisa bibliográfica realizada incidiu na metodologia *Total Productive Maintenance* (TPM), como forma de redução de desperdícios associados a equipamentos e como estratégia de melhoria contínua. Foram analisadas as métricas Overall Equipment Effectiveness (OEE), Mean Time to Repair (MTTR) e Mean Time between Failures (MTBF) de modo a avaliar o impacto do centro de apoio à manutenção, assim como a redução de desperdícios alcançada com a nova localização deste centro.

Dos vários pilares em que assenta a metodologia TPM, deu-se particular enfoque neste projeto ao pilar da Manutenção Autónoma, através da criação de instruções de manutenção e de folhas de registo de anomalias. Os equipamentos sujeitos a ações de manutenção autónoma foram escolhidos após a realização de uma análise FMEA.

No final, foi possível verificar que o tempo de reação a avarias tinha registado melhorias, como consequência da aproximação da manutenção. No entanto, as restantes métricas de fiabilidade não registaram evoluções positivas.

Do cálculo do OEE verificou-se que apesar de a Delphi não registar valores de 85%, situa-se muito próximo do valor de excelência. Dos desperdícios de equipamentos identificados, o tempo de mudança de ferramenta registou melhorias, ao contrário das avarias de equipamentos, com ênfase para a máquina de solda que foi o equipamento que mais contribuiu para o tempo perdido com avarias.

Palavras-Chave: CAP, TPM, OEE, MTTR, MTBF, Manutenção Autónoma, FMEA

Abstract

This work was developed based on the creation of a maintenance operations center (CAP) at Delphi Automotive Systems Portugal, in Braga.

The literature review was centered in the Total Productive Maintenance methodology (TPM), as a mean to reduce equipment related waste and as a continuous improvement strategy. The metrics Overall Equipment Effectiveness (OEE), Mean Time to Repair (MTTR) and Mean Time Between Failures (MTBF) were analysed in order to assess the impact of the maintenance operations center, as well as waste reduction achieved by the new location.

From the characteristics of TPM pillars, effort was focused on the Autonomous Maintenance pillar, through the creation of maintenance instructions and record sheets anomalies. The equipments targeted for autonomous maintenance activities were chosen after the development of a FMEA analysis.

In the end, it was possible to verify the reaction time to failure registered improvements, as a consequence of the approximation of maintenance. However, the remaining reliability metrics did not register any improvements.

From the calculation of the OEE it was possible to verify that, despite Delphi do not register OEE values above 85%, it is very close of the excellency standard. From the equipment wastes identified, change-over had registered improvements. On the other hand, equipment failure, mainly the wave soldering machine, that has contributed the most to the time losses due to equipment failure

Key Words: CAP,TPM,OEE,MTTR,MTBF, Autonomous Maintenance, FMEA

Índice

Resumo	iv
Abstract.....	v
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tabelas	ix
Índice de Gráficos	x
Lista de siglas e abreviaturas	xi
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia	2
1.4 Estrutura.....	3
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1 <i>Total Productive Maintenance</i>	4
2.1.1 Origem e definição	4
2.1.2 Pilares de sustentação do TPM	8
2.1.3 Total Participação.....	15
2.1.4 Desperdícios associados aos equipamentos	16
2.2 <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	18
2.3 <i>Kaizen</i>	22
2.3.1 Origem e princípios	22
2.3.2 Desperdícios	24
2.3.3 Ciclo PDCA	26
2.3.4 Ciclo SDCA	27
2.4 Métricas de fiabilidade.....	29
2.5 FMEA	31
2.5.1 FMEA de Produto	33
2.5.2 FMEA de processo	33
2.5.3 FMEA de Sistema.....	34
2.5.4 Identificação de potenciais efeitos de falha.....	34
2.5.5 Identificação de potenciais causas de falha	35
2.5.6 Identificação dos Controlos.....	37
2.5.7 RPN- <i>Risk Priority Number</i>	38

3.	Apresentação da empresa	40
3.1	Delphi Automotive Systems	40
3.2	Sistema produtivo da Delphi	42
3.3	Planeamento da Manutenção.....	45
3.4	Monitorização da Manutenção.....	46
4.	Avaliação do impacto da criação do Centro de Manutenção.....	48
4.1	Desperdício de Movimentos	49
4.2	Cálculo do <i>Mean Time To Repair</i>	51
4.2.1	Tempo de Reação.....	51
4.2.2	Tempo de reparação	53
4.3	Cálculo do <i>Mean Time Between Failures</i>	56
4.4	Cálculo da Disponibilidade de equipamentos.....	60
4.5	Avaliação da métrica Overall Equipment Effectiveness.....	62
4.5.1	Cálculo do índice Qualidade	62
4.5.2	Cálculo do índice Desempenho	64
4.5.3	Cálculo do índice Disponibilidade	66
4.5.4	Cálculo do OEE.....	67
4.5.5	Identificação de desperdícios.....	68
5.	Organização e melhoria do desempenho do CAP	73
5.1	Organização do centro de manutenção.....	73
5.2	FMEA	76
5.2.1	FMEA do mecanismo de <i>sub-assembly</i>	77
5.2.2	FMEA do <i>clinch</i>	78
5.3	Manutenção autónoma	80
5.4	<i>DashBoard</i> de Melhoria Contínua.....	82
6.	Conclusão.....	84
	Bibliografia.....	87
	Anexos	89
	Anexo I.....	90
	Anexo II.....	91
	Anexo III.....	92
	Anexo IV.....	93

Índice de Figuras

Figura 1- Relação do TPM com TQM, JIT e <i>Lean Manufacturing System</i>	8
Figura 2- Pilares do TPM.....	9
Figura 3- Desperdícios de equipamento contabilizados pelo OEE	19
Figura 4- Ciclo PDCA	26
Figura 5- Ciclo SDCA.....	28
Figura 6- Curva Da Banheira	30
Figura 7-Delphi Automotive Systems Portugal.....	41
Figura 8- Clinch	43
Figura 9-ICT e agulhas de teste.....	44
Figura 10- Planta do <i>gemba</i>	51
Figura 11- Centro de Apoio à Produção	74
Figura 12- Mesa de trabalho e armário de peças.....	75
Figura 13- Armazém de peças	76
Figura 14- Dashboard de melhoria contínua.....	82

Índice de Tabelas

Tabela 1- Fase de desenvolvimento da Manutenção Planeada	13
Tabela 2- Desperdícios de equipamentos	16
Tabela 3- Valores Ideais das Variáveis do OEE	22
Tabela 4-Índice de Gravidade	35
Tabela 5- Índice de Ocorrência.....	36
Tabela 6- Índice de Detecção	38
Tabela 7-Análise das distâncias percorridas para a Montagem Final	49
Tabela 8-Análise das distâncias percorridas para a Montagem de Elementos.....	50
Tabela 9-Tempo médio de reação em minutos	52
Tabela 10- Tempos de reparação	54
Tabela 11- Mean Time to Repair	55
Tabela 12- Número de avarias/minuto	57
Tabela 13- MTBF.....	59
Tabela 14- Índice de disponibilidade.....	60
Tabela 15- Índice de Qualidade	63
Tabela 16- Índice de Desempenho	65
Tabela 17-índice de disponibilidade.....	66
Tabela 18-Evolução mensal do OEE	67
Tabela 19-Avaria de equipamentos.....	71
Tabela 20-FMEA do mecanismo de sub-assembly	78
Tabela 21-Fmea do clinch.....	79

Índice de Gráficos

Gráfico 1-Evolução do tempo médio de reação	52
Gráfico 2-Tempo médio de reparação (minutos).....	54
Gráfico 3-Evolução do Mean Time to Repair.....	55
Gráfico 4- Variação da taxa de avarias	58
Gráfico 5-Evolução do MTBF	59
Gráfico 6- Disponibilidade de equipamentos.....	61
Gráfico 7- Evolução mensal do índice de qualidade.....	63
Gráfico 8-Evolução mensal do índice de desempenho	65
Gráfico 9-OEE.....	68
Gráfico 10-Evolução dos desperdícios do OEE	69
Gráfico 11-Tempo médio de Mudança de ferramenta	70
Gráfico 12-Tempo de avarias de equipamentos	72

Lista de siglas e abreviaturas

CAP- Centro de Apoio à Produção

TPM- *Total Productive Maintenance*

OEE- *Overall Equipment Effectiveness*

MTTR- *Mean Time To Repair*

MTB- *Mean Time Between Failures*

TQM- *Total Quality Management*

PDCA- *Plan, Do, Check, Act*

SDCA- *Standardize, Do, Check, Act*

FMEA- *Failure Mode and Effect Analysis*

1. Introdução

1.1 Enquadramento

As empresas industriais, hoje em dia, estão integradas num contexto dinâmico, resultado das crescentes exigências de qualidade, de custos e de prazos de entrega por parte dos clientes. Neste contexto, a busca contínua por melhorias é uma necessidade.

A indústria automóvel, na qual a Delphi Automotive Systems Portugal se insere, é um setor muito competitivo em que ações de melhoria contínua devem ser parte da rotina e devem ser transversais a todos os departamentos da organização. Só deste modo será possível melhorar o planeamento da produção, os processos de fabrico, os modelos de negócio, etc.

A presente dissertação foi desenvolvida na empresa Delphi Automotive Systems Portugal, que é considerada uma empresa TIER 1 do setor automóvel. Esta designação significa que a Delphi Automotive Systems Portugal é fornecedor direto dos principais construtores automóveis.

No âmbito da metodologia *Total Productive Maintenance* (TPM), em que a função Manutenção passa a integrar a função Produção para a melhoria da eficiência dos equipamentos e das ações de manutenção, a Delphi Automotive Systems Portugal decidiu instalar um Centro de Apoio à Produção (CAP) localizado no *gemba*¹, com o objetivo de intervir mais rapidamente aquando de avarias de equipamentos. A instalação deste centro de apoio apresenta como objetivos: (i) promover respostas mais rápidas às avarias que ocorrem durante o período produtivo; (ii) diminuir o espaço percorrido para a prestação de auxílio especializado; (iii) facilitar a comunicação entre a manutenção e a produção permitindo assim identificar mais facilmente oportunidades de melhoria.

¹ *Gemba*- palavra de origem japonesa que significa “espaço de trabalho”. Neste caso refere-se à área produtiva.

Por outro lado, a CAP também assiste as atividades de manutenção preventiva que se desenvolvam com ferramentas, técnicos e procedimentos

Com a criação do CAP é esperado que as ações de manutenção, tanto preventiva como corretiva, sejam mais rapidamente executadas. A presente localização, numa zona central do *gemba*, permite encurtar distâncias e assim dar sequência às ações necessárias para otimização das condições dos equipamentos.

A Delphi pretende criar um centro de manutenção localizado junto das linhas de montagem de elementos, designado de CAP. No espaço criado, os técnicos de manutenção irão realizar tarefas de manutenção preventiva e corretiva.

1.2 Objetivos

O presente trabalho visa avaliar o impacto da criação do CAP, analisando as métricas de fiabilidade, MTTR e MTBF, a fim de verificar se impacto foi positivo, efetuar o cálculo da métrica Overall Equipment Effectiveness, de forma a verificar quais os impactos que a aproximação da função Manutenção da função Produção gerou no desempenho global da secção Montagem de Elementos.

No âmbito da metodologia TPM serão criadas instruções de manutenção autónoma, segundo o pilar Manutenção Autónoma, assim como folhas de registo.

1.3 Metodologia

O método de desenvolvimento da presente situação, uma vez que o autor intervém ativa e diretamente no objeto de análise, é a metodologia pesquisa-ação. Esta metodologia consiste no estudo de um sistema específico, no qual são identificadas possíveis oportunidades de melhoria e, ao mesmo tempo, a participação ativa com os membros constituintes do sistema, na procura e implementação de atividades com vista à melhoria dos problemas previamente identificados.

1.4 Estrutura

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos: introdução, revisão bibliográfica, apresentação da empresa e análise do sistema de manutenção, após a criação de um centro de apoio às atividades de manutenção, no *gemba*.

Na introdução faz-se um breve enquadramento ao trabalho. Apresentam-se os objetivos e a metodologia de investigação utilizada.

No segundo capítulo faz-se a revisão da literatura, sendo objeto de análise o pensamento *Lean* para as reduções de desperdícios, os princípios e objetivos do TPM, desperdícios de equipamentos, manutenção autónoma e *Kaizen*.

O capítulo três apresenta a Delphi Automotive Systems Portugal onde se inclui um breve historial da empresa, apresentam-se os objetivos e estrutura organizacional bem como os respetivos produtos e principais clientes.

O capítulo quatro avalia e analisa os impactos obtidos a partir do instante da criação do CAP. Em primeiro é analisado quais os ganhos obtidos com a redução das distâncias percorridas pelos técnicos de manutenção. De seguida, tendo em consideração da nova posição da função Manutenção, são avaliadas as métricas de fiabilidade MTRR, MTBF e Disponibilidade, assim como a métrica OEE, de forma a verificar se se obteve melhorias após a instalação do CAP.

O quinto capítulo reporta-se à criação CAP, localizado no *gemba*, descrevendo a constituição em termos de equipamentos e ferramentas deste centro. E à luz da metodologia TPM, e da aproximação das funções Produção e Manutenção, são analisados dois equipamentos, com recurso à ferramenta FMEA, e desenvolvidas instruções de manutenção autónoma para estes equipamentos.

No último capítulo apresentam-se as conclusões do trabalho desenvolvido e efetuam-se sugestões de melhoria para trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo efetua-se a revisão bibliográfica que suporta cientificamente o projeto desenvolvido na Delphi Automotive Systems Portugal, abordando os seguintes temas: *Total Productive Maintenance*, complementado com fundamentos do *Gemba Kaizen*, e, mais detalhadamente, o pilar da Manutenção Autónoma. Serão também analisadas as métricas de fiabilidade MTTR, MTBF e Disponibilidade, e a métrica de avaliação do desempenho global OEE.

2.1 *Total Productive Maintenance*

O *Total Productive Maintenance* (TPM) consiste numa metodologia de melhoria contínua de origem japonesa, criada por Nakajima. A implementação desta metodologia implica uma alteração na cultura organizacional das organizações, uma vez que aproxima a função Manutenção da função Produção, tornando-as, em conjunto, parceiras na busca pela excelência e vantagem competitiva.

2.1.1 Origem e definição

O TPM teve origem no Japão em 1971 na Nippondenso, empresa de componentes elétricos para automóveis do grupo Toyota e emergiu das práticas de *Lean Manufacturing* introduzidas pela Toyota nos anos 50, que rapidamente foram adotadas por diversas empresas. O TPM surgiu da necessidade de criar uma estratégia para a manutenção dos equipamentos, como forma de eliminar os desperdícios, melhorando a eficiência do equipamento. O objetivo da melhoria da eficiência é eliminar completamente todas as formas de desperdícios provocados pelos equipamentos. Este tipo de abordagem vai de encontro à filosofia Zero Defeitos, uma abordagem à gestão da qualidade total.

A empresa Nippondenso foi a primeira empresa a adotar a manutenção preventiva, um modelo de manutenção inspirado nas técnicas de manutenção praticadas nos Estados Unidos da América. No entanto, com o desenvolvimento de processos automatizados, a empresa transferiu as responsabilidades de execução de tarefas de manutenção de

rotina (limpeza, lubrificação, ajustes, inspeção) para os operadores da produção, no sentido de fazer face à necessidade de recursos para ações de manutenção preventiva, surgindo o conceito de Manutenção Autônoma.

O *Total Productive Maintenance* (TPM) é uma metodologia de melhoria contínua. Cua, McKone, & Schroeder (2001) afirmam que o TPM forma um conjunto abrangente e consistente de práticas direcionadas para a melhoria do desempenho. O foco principal desta metodologia é maximização da produtividade dos equipamentos e capacidade produtiva, através da minimização de paragens de produção, resultantes de avarias de equipamento, e a melhoria da qualidade, através de eliminação de defeitos. Nakajima (1988) refere que “Quando as avarias e os defeitos forem eliminados, as taxas de utilização dos equipamentos melhoram, são reduzidos custos, os inventários podem ser minimizados, e como consequência, a produtividade aumenta”. Um ambiente dinâmico e altamente competitivo, equipamentos fiáveis são considerados como o maior contributo para o desempenho e rentabilidade do sistema produtivo.

De acordo com Chan, Lau, Ip, Chan, & Kong, (2005), “O *Total Productive Maintenance* descreve as relações sinérgicas entre todas as áreas de uma organização com vista à melhoria contínua da qualidade do produto, eficiência operacional, capacidade produtiva e segurança”. No entanto, no âmbito do TPM são mais acentuadas as relações entre a área da Produção e a área da Manutenção. Etienne-Hamilton (1994) defende que a manutenção tem de ser um parceiro a tempo inteiro que se esforça em conjunto com outras funções, de modo a atingir os objetivos da organização (citado em Park & Han, 2001, p.322).

Segundo Gosavi (2006) o resultado estratégico da implementação do TPM é a redução de ocorrência de avarias de equipamentos inesperadas que perturbam a produção e resultam em perdas (citado em Ahuja & Khamba, 2008, p.722).

De acordo com Nakajima (1988), considerado o pai do TPM, esta metodologia de melhoria contínua inclui cinco importantes elementos:

- O objetivo do TPM é maximizar a eficiência dos equipamentos;

- No âmbito do TPM, são estabelecidos sistemas de manutenção preventiva para o período de vida útil do equipamento;
- TPM é implementado em vários departamentos;
- TPM envolve todos os elementos da organização, desde a direção de topo até aos colaboradores no *gemba*;
- TPM promove a melhoria das ações de manutenção através de pequenos grupos de trabalho autónomos.

Ainda de acordo com o mesmo autor, a palavra “Total” no âmbito do *Total Productive Maintenance* assume diferentes significados, todos eles de extrema relevância nas características do TPM:

Eficácia Total- respeitante à melhoria da produtividade, qualidade, segurança;

Manutenção Total- melhoria das práticas de manutenção e fiabilidade dos equipamentos através de ações de prevenção e melhoria;

Total participação- promoção da manutenção autónoma através de pequenos grupos de trabalho

O último ponto, envolvimento de todos os elementos da organização é a característica principal da metodologia TPM, visto que, de acordo com McKone, Schroeder, & Cua (1999), para maximizar a capacidade dos equipamentos é crucial realizar diariamente ações de manutenção autónoma por parte dos operadores dos equipamentos. Nadarajah, Sambasivan, & Yahya, (2005) sublinham que o sucesso do TPM depende grandemente da eficiência dos programas de manutenção autónoma.

A integração de diversos sistemas que procuram igualmente a eliminação de desperdícios, como o *Total Quality Management* (TQM), o *Lean Manufacturing*, e o TPM, possibilita o desenvolvimento de um sistema híbrido que reúne as características fundamentais de cada sistema particular, com o intuito da melhoria do desempenho da organização. Segundo Teeravaraprug, Kitiwanwong, & SaeTong, (2001), estes três sistemas têm objetivos similares, que passam pela melhoria contínua e redução de desperdícios. Schonberger (1986) defende que os sistemas *Just in Time*, TQM e TPM são peças fundamentais de uma *World Class Manufacturing* (como citado em McKone,

Schroeder, & Cua, 1999). A figura 1 mostra o elevado grau de relacionamento entre os três sistemas.

O impacto que as práticas do TPM têm num sistema *Lean Manufacturing*, através da eliminação de *Mudas*², é de extrema relevância, tornando esta metodologia uma ferramenta fulcral para a concretização dos objetivos do *Lean Manufacturing*. Os seus reflexos fazem-se sentir das seguintes formas:

Minimização produtos rejeitados e reparações, com a inspeção permanente das condições de operabilidade dos equipamentos;

Redução dos tempos de espera, que podem ter origem numa operação que constitui um estrangulamento do processo, ou pode ser resultado de uma avaria num equipamento a montante. No primeiro caso o equipamento deve ser alvo de monitorização e tarefas de manutenção autónoma mais frequentes de modo a maximizar a capacidade do equipamento;

Maximização da capacidade produtiva dos equipamentos.

Por outro lado, existem também similaridades entre o TPM e o TQM. Ambos os sistemas focam esforços para a constante melhoria contínua dos processos e enfatizam a importância do total envolvimento de todos os elementos da organização no cumprimento das metas da organização. Os operadores são incumbidos de responsabilidades e metas a atingir, como participantes ativos no desempenho da organização. Para isso, os operadores devem ser capacitados de técnicas e ferramentas que possibilitam que desencadeiem ações de melhoria autonomamente. O sentimento de comprometimento derivado da participação ativa e responsabilidades no desempenho da organização é reforçado e estimulado.

² *Muda*- palavra de origem japonesa que classifica todas as atividades que não produzem valor acrescentado

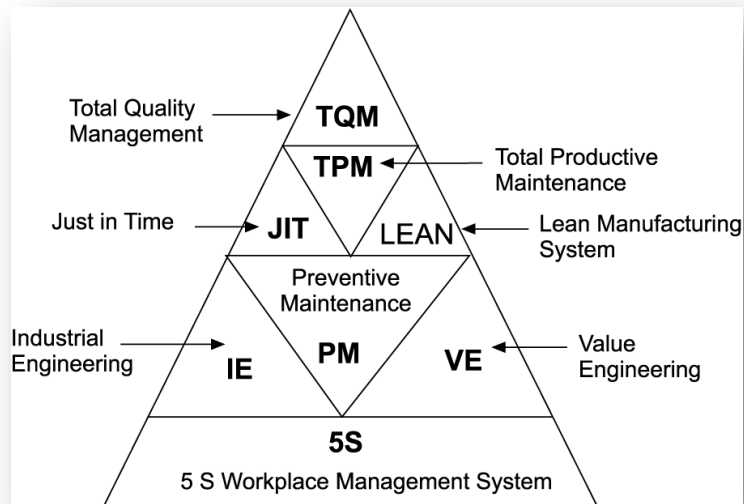


Figura 1- Relação do TPM com TQM, JIT e Lean Manufacturing System

(Fonte Ahuja & Khamba,2008)

2.1.2 Pilares de sustentação do TPM

Segundo Nakajima (1988), as atividades do TPM estão organizados segundo oito pilares. Dependendo dos autores, a quantidade e designação dos pilares podem variar. No entanto, o modelo desenvolvido por Nakajima é o mais aceite. Os pilares propostos por Nakajima, de modo a assegurar o cumprimento dos objetivos do TPM são os seguintes: Manutenção Autónoma; Manutenção Planeada; Melhoria Específica; Educação e Formação; Gestão da qualidade do processo; Gestão de novos equipamentos; Segurança e Higiene e TPM em áreas administrativas (figura 2).

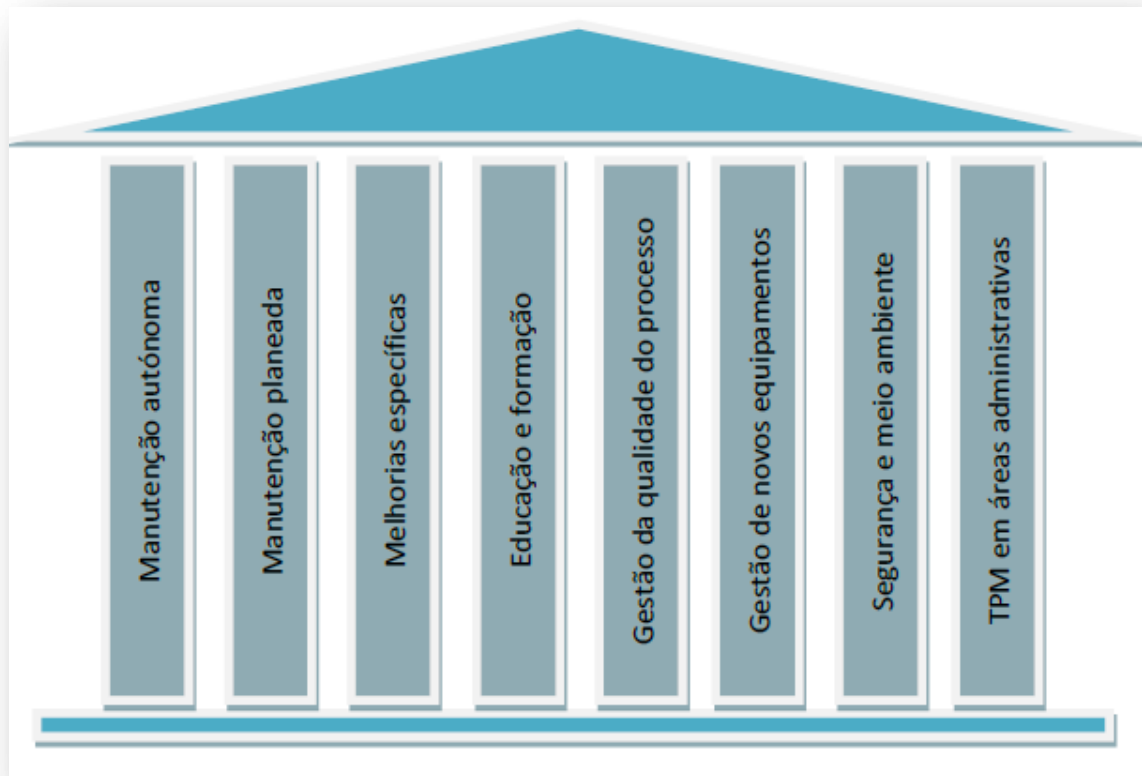


Figura 2- Pilares do TPM

MELHORIAS ESPECÍFICAS

O pilar “Melhorias Específica” inclui todas as atividades que maximizam a eficiência do equipamento, dos processos e da implantação fabril através da eliminação de desperdício e melhoria do desempenho. As melhorias visam zero perdas: zero falhas, zero defeitos, zero desperdícios na operação dos equipamentos. Uma vez identificados os desperdícios e analisadas as suas origens, segue-se o planeamento e implementação de ações de melhorias, com vista à minimização do impacto dos desperdícios. Na eventualidade de se obterem melhorias decorrentes das ações implementadas, procede-se ao desenvolvimento de standards, de modo a eliminar definitivamente o problema.

EDUCAÇÃO E FORMAÇÃO

A formação teórica e prática têm como objetivo capacitar os operadores com o conhecimento de técnicas de limpeza, lubrificação e inspeção dos equipamentos.

O objetivo deste pilar é tornar os operadores multifacetados, aumentando a sua motivação e responsabilidade de forma a levarem a cabo as tarefas de manutenção autónoma de forma eficaz. A formação é dada aos operadores não só para melhorar as suas competências técnicas mas também para explicar o conceito de TPM, para que desta forma se consiga a sua motivação e participação no projeto.

GESTÃO DA QUALIDADE DO PROCESSO

A gestão da qualidade do processo tem por objetivo criar as condições ideais para a eliminação de defeitos, analisando as causas para as não conformidades do produto, de modo a ser possível identificar as causas dos problemas e iniciar ações preventivas.

GESTÃO DE NOVOS EQUIPAMENTOS

A gestão de novos equipamentos fundamenta-se nos conhecimentos adquiridos com os processos de melhoria e manutenção desenvolvidos nos equipamentos existentes. Na fase de planeamento de aquisição de novos equipamentos são tomados em consideração inúmeros aspetos tais como: elevado grau de fiabilidade, facilidade de manutenção, ciclo de vida, operacionalidade, e tempo de *Setup*.

SEGURANÇA E AMBIENTE

Este pilar tem como objetivo a criação e preservação de um posto de trabalho seguro, sem riscos de acidentes.

TPM EM ÁREAS ADMINISTRATIVAS

O TPM em áreas administrativas tem como finalidade melhorar a produtividade e eficiência das funções administrativas e eliminar desperdícios, e inclui a análise de processos e procedimentos para aumento de automação de escritório. Os desperdícios visados pelo pilar TPM em áreas administrativas são os seguintes:

- Perdas de processamento
- Perdas de dinheiro
- Falhas de comunicação
- Períodos de inatividade
- Perdas de *Setup*
- Imprecisão

- Avaria nas vias de comunicação
- Indisponibilidade de informação de *stock*
- Reclamações de clientes devido a problemas de logística
- Gastos com envios e aquisições de emergência

MANUTENÇÃO PLANEADA

A manutenção planeada direciona esforços para atingir o objetivo de zero falhas e melhorar a eficiência dos equipamentos, durante todo o seu período de vida útil, desenvolvendo atividades de manutenção proativas, em detrimento de abordagens reativas.

As atividades, segundo uma abordagem reativa, devem ser executadas em equipamentos cuja indisponibilidade não se traduza em perdas significativas e que os custos de manutenção sejam baixos. Uma vez que as ações de manutenção reativa respondem às avarias ocorridas, esta abordagem acarreta desvantagens e riscos desnecessários (Ahuja & Khamba, 2008):

- Interrupções não planeadas
- Excesso de desperdícios
- *Stock* de peças suplentes elevado
- Custos de manutenção elevados
- Tempo de espera para reparação e tempos de reparação elevados

A abordagem proactiva visa evitar a ocorrência de avarias. Para tal, são desencadeadas atividades de avaliação e monitorização das condições dos equipamentos. Se necessário executam-se reparações para repor as condições ótimas do equipamento. Estas atividades têm como propósito minimizar a probabilidade de ocorrência de avarias, de acordo com Swanson (2001).

Abordagens proativas compreendem, entre outras, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

Manutenção preventiva são atividades de manutenção executadas em intervalos de tempo determinados normalmente pelo fabricante do equipamento. Este tipo de

manutenção baseia-se na probabilidade de falha dos equipamentos para um dado período.

As ações desenvolvidas incluem a lubrificação do equipamento, substituição de peças, limpeza e calibração. Os equipamentos são também, durante este processo, inspecionados de forma a identificar sinais de deterioração.

“A Manutenção preventiva é eficaz na resolução de avarias relacionadas com o desgaste dos componentes” (Bevilacqua & Braglia, 2000) .

O objetivo é prevenir a ocorrência de avarias e maximizar o tempo de vida dos equipamentos.

Manutenção preditiva, ou manutenção preventiva condicionada, é realizada em função do estado do equipamento e dos seus componentes. Neste tipo de manutenção são implementadas ferramentas de diagnóstico, de modo a avaliar as condições dos equipamentos, tais como temperatura, vibração, ruído, lubrificação e corrosão. As intervenções são desencadeadas mediante a determinação de necessidade aquando da avaliação das condições. Assim, as tarefas de manutenção só são executadas quando há necessidade para tal e não num período de tempo estipulado. Esta prática permite a maximização do período de vida dos equipamentos, o controlo de *stock* de peças suplentes, ganhos de produtividade e custos reduzidos de manutenção.

Atividades de manutenção planeada e manutenção autónoma estão, segundo o modelo desenvolvido por Nakajima (1988), divididos em quatro fases de desenvolvimento do TPM (Tabela 1):

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
	Reduzir a variabilidade do tempo de vida	Maximizar o tempo de vida	Realizar reparações ocasionais	Prever tempo de vida
Manutenção Planeada	Avaliar as condições do equipamento Restaurar as condições do equipamento	Melhorar fragilidades do desing do equipamento Eliminar fontes de falhas	Estimar o tempo de vida e planear manutenções Identificar sintomas de deterioração	Previsão do tempo de vida usando técnicas de diagnóstico Prevenção de defeitos de qualidade
Manutenção Autónoma	Passo 1: Limpeza e inspeção inicial Passo 2: Eliminar fontes de problemas ou sujidade e áreas de difícil acesso Passo 3: Definir standards de limpeza, lubrificação e inspeção	Passo 4: Realizar formações sobre inspeções gerais	Passo 5: Verificar os procedimentos de inspeção	Passo 6: Gestão e controlo do posto de trabalho Passo 7: Melhoria contínua

Tabela 1- Fase de desenvolvimento da Manutenção Planeada

FASE I

Nesta fase são desenvolvidos esforços com vista à minimização da variabilidade do tempo de vida dos equipamentos. Procede-se à identificação e eliminação das causas da variabilidade, de modo a se estabelecer um padrão controlado de funcionamento. Dá-se início ao processo de restauração das condições de funcionamentos dos equipamentos e à limpeza dos mesmos. A definição de padrões de limpeza, lubrificação e inspeção é também desenvolvida, como forma de evitar que causas de variabilidade do tempo de vida possam surgir.

FASE II

O objetivo da segunda fase é maximizar o tempo de vida dos equipamentos, uma vez que as causas de variabilidade estão controladas. Para além das ações de limpeza e lubrificação, os operadores são treinados para realizarem autonomamente inspeções aos equipamentos. A eliminação de fontes de contaminação e causas de falha também são realizadas nesta fase.

O objetivo, comum, nas duas primeiras fases é conseguir controlar a distribuição de falhas dos equipamentos, uma filosofia que é basilar no âmbito TPM. A alteração da distribuição de falhas permite que sejam minimizados desperdícios de equipamentos, perseguindo os objetivos de zero falhas e zero defeitos.

FASE III

Uma vez implementadas as duas fases anteriores, com o tempo de vida dos equipamentos estabilizado, fruto das ações para eliminar as causas de variabilidade, cabe aos técnicos de manutenção determinarem o tempo de vida dos equipamentos. Assim, torna-se possível o departamento de Manutenção elaborar planos de inspeção e reparações periódicas.

FASE IV

O conhecimento sobre os equipamentos adquirido na fase anterior é complementado com a implementação de técnicas de diagnóstico, de forma a prever a ocorrência de falhas e eliminar os problemas de qualidade resultantes do incorreto funcionamento dos equipamentos. As intervenções de manutenção são realizadas em função das condições atuais dos equipamentos, possibilitando, assim, a maximização da capacidade produtiva dos equipamentos, assim como a redução das avarias inesperadas.

MANUTENÇÃO AUTÓNOMA

Este pilar tem como finalidade capacitar os operadores com conceitos e técnicas básicas da manutenção, como limpeza, lubrificação e inspeção, que devem ser realizadas diariamente, transferindo a responsabilidade de preservação das condições dos equipamentos para os operadores.

“A particularidade da Manutenção Autônoma é que é praticada pelos elementos do Departamento de Produção e não pelo convencional Departamento de Manutenção” (Nadarajah, Sambasivan, & Yahya, 2005). De acordo com os mesmos autores, o sucesso do TPM, em grande medida, depende do sucesso da manutenção autônoma

“Manutenção autônoma centrada no operador coloca a responsabilidade de manutenção contínua dos equipamentos nos operadores” (Prickett, 1999).

Esta transferência de responsabilidade permite que os técnicos de manutenção dediquem mais tempo na resolução de problemas decorrentes e no desenvolvimento e planeamento de estratégias de manutenção mais eficientes.

2.1.3 Total Participação

Segundo Yamashina (1995), o operador é o fator decisivo no desempenho da organização, independentemente do grau de sofisticação da organização.

“ O TPM exige delegação de autoridade e responsabilidade aos operadores, com total participação de todos os elementos da organização. Para o sucesso do TPM, a responsabilidade pela tomada de decisões deve ser atribuída aos níveis mais baixos da hierarquia” (Park & Han, 2001).

No âmbito do TPM, é incumbido ao operador acrescidas responsabilidades. Este tipo de abordagem é designado de *empowerment*. Marras (2001), Blanchard (2001) e Tracy (1994) definem *empowerment* como uma mudança organizacional com o intuito de ampliar o sistema decisório até ao nível mais baixo da pirâmide organizacional- os operadores, atribuindo-lhes poder e autonomia de como realizar as suas tarefas (Oliveira & Rocha, 2008). Cardoso (2003) e Tracy (1994) realçam o aumento da motivação dos operadores e melhoria dos resultados, na sequência da atribuição de responsabilidades (Oliveira & Rocha, 2008).

O envolvimento dos operadores (e de todos os elementos da organização) na conservação dos equipamentos e melhoria da qualidade reflete-se, indiretamente, na melhoria das relações; a verdadeira força motriz do TPM é a utilização do

conhecimento e experiência de todos os elementos da organização para atingir os objetivos da organização, segundo Park & Han (2001).

“O TPM baseia-se no recurso a pequenos grupos de trabalho, incentivando o total envolvimento dos operadores e implementado pela produção e manutenção com o objetivo de maximizar a produtividade”. (Nadarajah, Sambasivan, & Yahya, 2005).

“Total participação e manutenção autónoma realizada pelos operadores, atividades de grupo destinadas à melhoria da disponibilidade, manutibilidade e produtividades dos equipamentos, e melhoria contínua (*kaizen*) são os princípios do TPM” (Ahuja & Khamba, *Total productive maintenance*., 2008).

2.1.4 Desperdícios associados aos equipamentos

“Para se atingir eficácia global dos equipamentos, o TPM visa eliminar seis grandes perdas, que são obstáculos formidáveis para a eficácia dos equipamentos” (Nakajima, 1988).

Os seis desperdícios são apresentados na tabela 2:

Perdas de desempenho	Perdas de Velocidade	Defeitos
<ul style="list-style-type: none">• Avarias de equipamentos• Perda de tempo para mudanças e ajustes	<ul style="list-style-type: none">• Tempos de espera ou pequenas paragens• Diminuição da velocidade	<ul style="list-style-type: none">• Processo defeituoso• Baixo rendimento do processo

Tabela 2- Desperdícios de equipamentos

AVARIAS DE EQUIPAMENTOS

É originada por falta de manutenção ou da manutenção insuficiente. Esta perda provoca graves prejuízos para a organização. A manutenção autónoma deve ser concretizada de modo a minimizar a ocorrência de avarias;

PERDA DE TEMPO PARA MUDANÇAS E AJUSTES

Perdas de tempo (e capacidade) resultantes da mudança de produto. Os equipamentos não estão em produção desde o momento de produção do último produto até à produção do primeiro novo produto conforme. Para preparar o equipamento para a produção do novo produto executam-se tarefas e substituição de peças, ajuste do equipamento e limpeza.

MICRO PARAGENS

A perda por pequenas paragens é causada por pequenas falhas do equipamento devido a problemas temporários. Ações de lubrificação, limpeza e inspeção evitam a ocorrência deste tipo de prejuízo.

DIMINUIÇÃO DE VELOCIDADE

A perda por velocidade é a diferença entre a velocidade definida pelo equipamento e a velocidade real do equipamento. Esta perda é minimizada através da atuação conjunta dos pilares da manutenção autónoma e da manutenção planeada, que garantem o bom funcionamento e a fiabilidade dos equipamentos, assim como a preservação das condições de operabilidade do equipamento.

PROCESSO DEFEITUOSO

Esta perda é relativa a repetições de processos defeituosos, que originam problemas de qualidade do produto e perdas de tempo em retrabalhos. As atividades de manutenção autónoma possibilitam a maximização da disponibilidade dos equipamentos e qualidade na produção dos produtos.

BAIXO RENDIMENTO DO PROCESSO

É a perda no período gasto para estabilização do processo, após um período de tempo de inatividade. No processo de estabilização do processo podem decorrer perdas de

tempo e produção de produtos não conformes, que são contabilizados para a determinação da eficiência e qualidade do processo.

A aplicação das práticas do TPM visam eliminar os desperdícios acima referidos na sua origem, desencadeando ações de manutenção preventiva, de modo a que as causas raízes dos desperdícios cessem de existir. A manutenção dos equipamentos nas suas condições ótimas evita flutuações no processo, possibilita a monitorização da condição do equipamento, diminuindo a possibilidade de avarias e qualquer falha que possa tornar o processo defeituoso.

2.2 Overall Equipment Effectiveness

O objetivo do TPM é maximizar a eficiência dos equipamentos, através de melhorias das condições de operabilidade dos equipamentos, recorrendo a ações de manutenção autónoma.

O Overall Equipment Effectiveness (OEE) é uma métrica capaz de determinar o desempenho global de um determinado sistema ou processo.

“ A métrica OEE oferece um ponto de partida para o desenvolvimento de variáveis quantificáveis para relacionar uma medida da manutenção com as estratégias da organização. O OEE pode ser usado com um indicador da fiabilidade do sistema produtivo” (Ahuja & Khamba, 2008).

Para o cálculo do OEE recorre-se a três fatores, que numa organização representam o impacto negativo que os seis grandes tipos de desperdício considerados pelo TPM têm no desempenho global da organização (Figura 3).



Figura 3- Desperdícios de equipamento contabilizados pelo OEE

(Fonte Santos& Santos, 2007)

Este indicador, expresso em percentagem, é obtido através do produto destes três fatores.

$$OEE = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade}$$

ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE

O cálculo para a determinação do índice de disponibilidade é baseado na relação entre o tempo de produção planeado, em que são tomados em consideração as paragens planeadas, e o tempo de paragem. Este indicador contabiliza o impacto das paragens de produção devido a avarias de equipamentos e *Setup*.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo produtivo disponível} - \text{Tempo de paragens}}{\text{Tempo produtivo disponível}}$$

$$\text{Tempo produtivo disponível} = \text{Tempo de produção planeado} - \text{Paragens planeadas}$$

As paragens planeadas contabilizam todos os períodos de interrupção do processo produtivo previamente planeados, como interrupção para ações de manutenção, intervalos e reuniões. Para a determinação dos tempos de paragem, que afetam negativamente a disponibilidade dos equipamentos devem ser registados tempos, que somados culminam no tempo total de paragens:

- Os tempos de falha e reparação: inclui todos os tempos de paragem até que o primeiro produto dentro das especificações seja produzido;
- Tempos de *Setup* e ajustamentos: é o tempo que decorre desde a produção do último produto A conforme e o primeiro produto B conforme;
- Outros tempos que afetam a disponibilidade: qualquer outro tempo não escalonado que se pretende considerar para efeito do cálculo da disponibilidade

De acordo com Holmgren (2005), as paragens planeadas, em diversas organizações, são também alvo de ações de melhoria, de modo a minimizar o tempo despendido nas ações de manutenção planeada (Ahuja & Khamba, 2008).

Este índice reflete o tempo produtivo real dos equipamentos.

Segundo Park & Han (2001) maximizar a disponibilidade do equipamento reduz a quantidade de stock intermédio para proteger o processo contra quebras de produção provocadas por avarias e aumenta a capacidade efetiva do equipamento.

ÍNDICE DE DESEMPENHO

O índice desempenho compara a quantidade de produtos que o equipamento deveria ser capaz de produzir com a quantidade realmente produzida pelo equipamento.

Neste fator são contabilizadas as perdas de velocidade de funcionamento: pequenas interrupções e redução de velocidade de operação.

As pequenas interrupções interrompem o fluxo de produção sem que o equipamento falhe e geralmente ocorrem com frequência

O número de produtos efetivamente produzidos é comparado com o número de produtos produzidos com a máquina a trabalhar caso estivesse em condições ótimas de funcionamento, à velocidade *standard*.

Melhorias no desempenho do equipamento permitem reduzir a necessidade de *stocks* intermédios e aumentam a capacidade do equipamento, para além de rentabilizar os benefícios originados pela melhoria da disponibilidade do equipamento (Park & Han, 2001).

De modo a ser possível identificar as causas raízes de constrangimentos que impedem a maximização da capacidade produtiva do equipamento, pode-se recorrer ao método dos “ 5 Porquês” ou a uma análise FMEA. Uma vez identificadas as causas de pequenas interrupções do processo produtivo e decréscimo da velocidade de operação, é possível iniciar ações de melhoria destinadas à supressão das pequenas interrupções e ao aumento da velocidade de operação do equipamento, de modo a atenuar as diferenças entre o tempo de ciclo real e o tempo de ciclo atual. O índice de desempenho pode ser obtido recorrendo à equação:

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Tempo de ciclo teórico} \times \text{Quantidade produzida}}{\text{Tempo produtivo disponível}}$$

ÍNDICE DE QUALIDADE

O índice de qualidade reflete a capacidade de um equipamento produzir um produto segundo os parâmetros de conformidade estabelecidos. São comparados as quantidades expectáveis de produção e a quantidade de produtos produzidos em conformidade com os requisitos especificados no projeto.

São contabilizadas as seguintes perdas:

- Quantidade de peças defeituosas produzidas;
- Quantidade de peças que necessitam de correções (retrabalhos).

O cálculo do índice de qualidade efetua-se recorrendo à equação apresentada abaixo. As peças retrabalhadas devem ser contabilizadas, pois representa uma consequência

do incorreto funcionamento do equipamento, pelo que, mesmo apesar de corrigidas de modo a reunirem as condições impostas, elas representam um desperdício.

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Quantidade produzida} - \text{Peças retrabalhadas} - \text{Peças defeituosas}}{\text{Quantidade produzida}}$$

De acordo com Nakajima (1988) o valor ideal da métrica OEE deve ser de 85% ou maior. Para isso, de acordo com o mesmo autor, cada uma das variáveis envolvidas deve apresentar, no mínimo, os seguintes valores apresentados na tabela 3:

Variáveis	Valor (%)
Disponibilidade	90%
Desempenho	95%
Qualidade	99%

Tabela 3- Valores Ideais das Variáveis do OEE

2.3 Kaizen

Esta secção descreve a filosofia *Kaizen*, as suas origens e os objetivos de redução de desperdícios, assim como o Ciclo PDCA e Ciclo SDCA, como ferramentas de melhoria e padronização.

2.3.1 Origem e princípios

Kaizen significa melhoria contínua. De origem japonesa, esta metodologia implica melhoria permanente baseada em dados, com o envolvimento de todos os elementos da organização. Caracteristicamente, as mudanças são de pequena escala e incrementais, fundamentadas nos conhecimentos decorrentes do dia-a-dia, o que confere às mudanças baixo grau de risco e custo. “*Kaizen* significa pequenas melhorias decorrentes de esforços contínuos” (Imai, 1997). No longo prazo, as atividades *Kaizen*

proporcionam mudanças importantes, com resultados positivos e que se perpetuam no seio da organização.

Melhoria contínua (*kaizen*) “é uma cultura de melhoria sustentada, direcionada para a eliminação de desperdícios em todos os sistemas e processos de uma organização. Envolve todos os elementos da organização para desenvolver melhorias sem necessariamente requerer investimentos avultados de capital” (Bhuiyan & Baghel, 2005).

No contexto do *Kaizen*, as atividades de melhoria contínua geralmente são executadas no *gemba*, onde as mudanças são mais facilmente se evidenciam.

O processo *Kaizen* foi criado para impulsionar a excelência global, através de melhorias incrementais dos processos. É um processo baseado na melhoria da qualidade, custo e distribuição eliminando os desperdícios (*muda*). É caracterizado pela participação de todos os elementos da organização, em pequenas equipas, altamente energéticas, que ajudam a que boas ideias se tornem realidade (Scyoc, 2008).

Para a execução de tarefas no âmbito do *Kaizen*, existem conceitos fundamentais que devem estar enraizados na organização:

KAIZEN E GESTÃO DE TOPO

A gestão de topo, no contexto do *kaizen*, assume duas funções importantes: A manutenção dos processos, tecnologias e operações existentes e melhoria de tais tarefas através de formação e disciplina; a realização de atividades com a finalidade de melhorar os atuais níveis de desempenho, focando-se nos recursos humanos existentes, melhorando a moral e os meios de comunicação, formando e promovendo a participação de todos os elementos através de atividade conjuntas.

PROCESSO E RESULTADOS

No âmbito do *kaizen*, os processos são o principal foco de atuação, uma vez que melhores resultados provêm da melhoria contínua dos processos. Para tal, é necessário identificar falhas nos processos, de modo a executar qualquer tipo de ação, ou de correção ou de melhoria.

UTILIZAÇÃO DE DADOS

O *Kaizen* é uma ferramenta orientada à resolução de problemas. Para tal, é necessário a recolha e análise dos dados relevantes para a resolução dos problemas. Isto funciona como um ponto de partida para identificar oportunidades de melhoria.

2.3.2 Desperdícios

Imai (1997) define desperdícios como o conjunto de atividades que não acrescentam valor ao produto. Nesta perspetiva, o TPM é uma ferramenta eficaz na redução dos desperdícios da produção. De acordo com Ohno, os desperdícios da produção estão divididos em sete categorias (citado em Imai, 1997).

- **EXCESSO DE PRODUÇÃO**

Produção de maiores quantidades que o planeado. Considerado por Imai (1997) como a pior forma de desperdício, resulta num consumo desnecessário de matéria-prima antes do agendado, utilização de recursos (operadores e equipamentos) e espaço de armazenamento, aumento de custos. Maus planeamentos, avarias de equipamentos, qualidade do produto são os motivos para a prática de produzir em demasia.

- **TRANSPORTE**

Apesar do transporte de materiais ser uma função vital na organização, a ação em si não acrescenta qualquer valor ao produto. O transporte de materiais pode pôr em risco a qualidade do produto, uma vez que podem acontecer situações imprevisíveis que resultem na danificação do produto. O transporte de materiais e produtos deve-se restringir ao mínimo necessário, pois, caso contrário, para além de os custos sofrerem acréscimo, a organização incorre em esforços desnecessários e perdas de tempo

- **MOVIMENTO**

Este desperdício corresponde a quaisquer movimentos desnecessários à execução da tarefa. Este desperdício pode ter origem em instruções de trabalho mal definidas, operador sem formação para a realização da tarefa,

fraca organização do local de trabalho. Imai (1997) dá o exemplo de um técnico de manutenção que percorre longas distâncias com uma ferramenta, não está a adicionar qualquer valor. A existência de um centro de manutenção no *gemba* permite uma maior aproximação dos técnicos de manutenção aos equipamentos que necessitem de assistência.

- **DEFEITOS**

Este desperdício é gerado por problemas de qualidade. Para fazer face a este tipo de desperdício, geralmente criam-se tarefas de inspeção visual, com custos associados, e ações de reparação, que consomem recursos e tempo. Por outro lado, a ocorrência de um defeito pode pôr em risco os próprios equipamentos. Os equipamentos devem estar equipados com sistemas à prova de erro (*Poka Yoke*), que identificam falhas de qualidade e evitam a produção de mais produto defeituoso.

As consequências deste desperdício são muito gravosas, uma vez que pode originar queixas do cliente, excesso de *stock* para colmatar os produtos defeituosos e custos elevados.

- **INVENTÁRIO**

Resultado direto do excesso de produção, o inventário não só não acrescenta valor como também aumenta os custos de produção e coloca em risco a qualidade dos produtos, uma vez que estes estão sujeitos a acidentes. Por outro lado, segundo Imai (1997) um inventário limitado permite identificar mais concretamente possíveis aspetos que devem ser melhorados

- **TEMPOS DE ESPERA**

Imai (1997) define este tipo de desperdício como o período de tempo em que as mãos do operador estão paradas ou quando, simplesmente, está a monitorizar um equipamento. As causas para este tipo de desperdício são o mau balanceamento das linhas, falta de matérias e avarias de equipamentos.

- **PROCESSAMENTO**

Existência de processos e operações que não acrescentem valor ao produto. A organização realiza esforços redundantes.

2.3.3 Ciclo PDCA

“O processo de melhoria contínua é baseado na aplicação do Ciclo de Qualidade de Deming ou ciclo PDCA” (Paliska, Pavletic, & Sokovic, 2007) (figura 4).

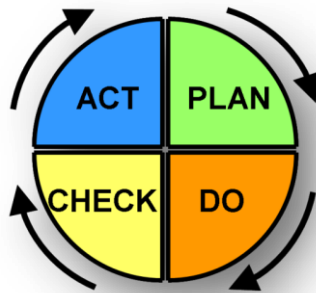


Figura 4- Ciclo PDCA

Este ciclo funciona como uma ferramenta que assegura a melhoria contínua, uma vez que o ciclo pode estar sempre em funcionamento. Uma ação de melhoria resultante da aplicação desta metodologia pode, por seu turno, ser alvo de nova ação de melhoria.

A metodologia desenvolve-se em 4 fases:

- **PLAN**

Estabelecer os objetivos e processos necessários para fornecer resultados de acordo com os requisitos e políticas pré-determinados

- **Do**

Fazer, executar – implementar as ações de melhoria previamente planeadas.

- **CHECK**

Verificar – monitorizar e medir as melhorias implementadas, de modo a determinar se as ações de melhoria estão a surtir os efeitos de melhoria planeados

- **ACT**

Agir – executar e padronizar os novos procedimentos de modo a prevenir a repetição do problema original ou para definir metas para as novas melhorias

O ciclo PDCA é uma forma de introduzir melhorias num dado sistema. No entanto, a filosofia *kaizen* exige que as melhorias alcançadas sejam padronizadas, de modo a consolidar o novo nível, após a implementação de melhorias com vista à resolução de um dado problema.

2.3.4 Ciclo SDCA

Só é possível iniciar um processo de melhoria se o processo alvo estiver devidamente estabilizado (Imai, 1997).

O processo de estabilização é designado ciclo SDCA- *Standardize-Do-Check-Act*. A função do ciclo SDCA é padronizar e estabilizar os processos, enquanto o ciclo PDCA visa a sua melhoria. O cumprimento com as normas padronizadas assegura a qualidade e eficiência do processo desenvolvido. A figura 5 apresenta o processo de *standardização* (ciclo SDCA) de uma melhoria alcançada através do ciclo PDCA.

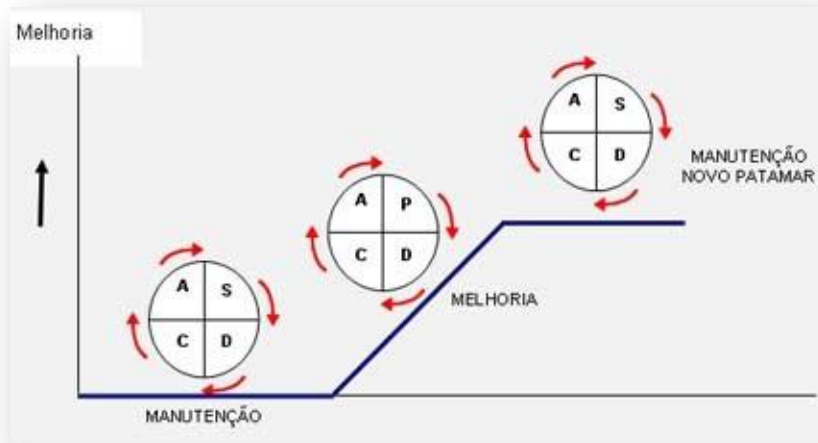


Figura 5- Ciclo SDCA

Nos dois ciclos, PDCA e SDCA, “o ultimo estado, *act*, refere-se à padronização e estabilização do processo.” (Imai, 1997)

O desenvolvimento de um modo padrão de execução de uma tarefa, e o seu cumprimento, representam o modo mais fácil e seguro de corresponder aos níveis de qualidade e eficiência exigidos pelos clientes.

De acordo com Imai (1997), o desenvolvimento de trabalho padronizado confere as seguintes características:

- Representa o melhor, mais fácil e mais seguro método de executar uma determinada tarefa, assente no *know-how* dos operadores e esforços contínuos para a resolução de problemas.
- É a forma mais adequada de perpetuar o *know-how* e perícia, permitindo que todos os operadores obtenham as mesmas competências.
- Fornece uma forma de medição do desempenho
- Expõe as relações causa-efeito, pois o cumprimento com o trabalho padronizado reduz as hipóteses de variabilidade. A variabilidade no processo origina fontes de desperdício.
- Fornece uma base para futuras ações de melhoria, pois mesmo depois do desenvolvimento de um padrão, se ainda persistirem situações de variabilidade, são necessárias ações de melhoria sobre os padrões existentes.

- Estabelece objetivos e exige que os operadores recebam formação adequada para o cumprimento dos requisitos da tarefa.
- Permite que supervisores verifiquem se as tarefas estão a ser realizadas segundo o estipulado.
- A implementação de um padrão previne a recorrência de falha. O controlo da qualidade exige que a variabilidade nos processos seja controlada. Trabalho padronizado minimiza as hipóteses de variabilidade, pois é indicado o modo apropriado, mais fácil e seguro de executar uma determinada tarefa.

2.4 Métricas de fiabilidade

O Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) é um indicador de fiabilidade frequentemente utilizado. O MTBF tem influência nos índices de fiabilidade e disponibilidade de um sistema. O MTBF é a medida básica para a fiabilidade e representa o tempo médio entre avarias consecutivas, não tendo que ser necessariamente avarias do mesmo tipo ou do mesmo equipamento.

A fiabilidade é definida como a capacidade ou probabilidade de um sistema ou equipamento executar as suas funções operacionais, mediante determinadas condições e num período de tempo definido. A fiabilidade, $R(t)$, de um determinado item pode ser determinada recorrendo à seguinte equação:

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

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

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \Leftrightarrow R(t) = e^{\frac{-t}{\text{MTBF}}}$$

$$\lambda = \text{taxa de avarias}$$

A equação apresentada só é válida para taxas de falha constantes.

Outra métrica que afeta a disponibilidade de um sistema é o Tempo Médio de Reparação (MTTR). Esta métrica representa o tempo estimado de recuperação de um item perante uma avaria. Compreende o tempo despendido no diagnóstico do problema, o tempo até ao início da intervenção e o tempo real de reparação. O MTTR

está diretamente relacionado com a disponibilidade do item, pois quanto maior for o tempo gasto para a recuperação completa até às condições de operação, menor é a disponibilidade do sistema ou equipamento.

A disponibilidade representa a percentagem de tempo em o sistema ou equipamento está completamente operacional e acessível, quando é necessária a sua utilização. A equação mostra a expressão da disponibilidade em função do MTBF e MTTR para o estado estacionário e considerando que o MTBF e MTTR são expressas pela mesma unidade de medida.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

CURVA DA BANHEIRA

A curva da banheira é muitas vezes usada para representar a taxa de avarias com o decorrer do tempo. As causas de falha dos equipamentos variam segundo o tempo. A análise das falhas permite à organização perceber em que fase do ciclo de vida se encontram os equipamentos, e definir medidas para reverter e controlar eventos inesperados.

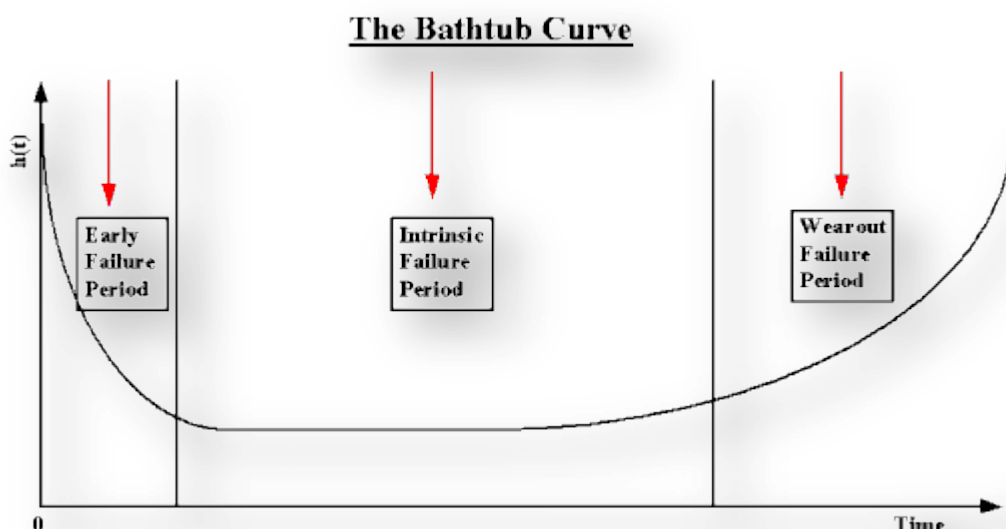


Figura 6- Curva Da Banheira

As três fases do ciclo de vida de um equipamento são:

FASE INFANTIL: A taxa de falhas diminui com o tempo à medida que os componentes com defeito saem de funcionamento. As principais causas estão relacionadas com falhas de projeto;

FASE DE VIDA ÚTIL: Nesta fase, as falhas tendem a estabilizar durante um período de tempo. As falhas são acidentais provocadas por erros de operação;

FASE DE DESGASTE: A taxa de falhas aumenta devido ao desgaste do equipamento. Para minimizar o impacto das falhas neste período de vida, devem ser levadas a cabo ações de manutenção preventiva que visam repor as condições de operabilidade.

2.5 FMEA

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), análise de modo e efeito da falha, é um método analítico que visa assegurar que potenciais problemas que possam surgir tanto no produto como no processo são identificados, de forma a determinar o possível efeito e definir ações de prevenção.

“Como ferramenta de avaliação de risco, FMEA é considerado um método para identificar a gravidade de potenciais efeitos de falha e fornecer informações para a implementação de medidas para diminuir esse risco” (Chrysler LLC, Ford Motor Company and General Motors Corporation, 2008) .

É uma técnica usada para definir, identificar, priorizar e eliminar potenciais falhas no sistema, produto ou processo.”FMEA é um processo proactivo destinado à previsão de efeitos prejudiciais provocados por falhas humanas e de equipamentos” (Senders, 2004).

O conceito de falha é definido, de acordo com a NP EN 13306:2007, como um estado de um bem inapto para cumprir a função requerida, excluindo os períodos de interrupção devido a ações de manutenção, ou outras intervenções planeadas, ou devido à falta de recursos externos.

Modo de falha é a maneira pela qual é verificada a incapacidade de um bem para cumprir a função exigida.

“Modo de falha é o modo em que um componente, subsistema ou sistema pode potencialmente falhar na concretização dos seus objetivos” (Kmenta & Ishii, 2000)

Este método de análise pode ser aplicado para prevenir problemas, para realizar uma abordagem estruturada de modo a avaliar e acompanhar o desenvolvimento de produtos e processos ou ser utilizado como diário, atualizável, acompanhando o produto ou processo durante todo o tempo. A análise FMEA oferece a possibilidade de elaboração de um registo sistemático dos modos de falhas dos produtos/processos.

A análise FMEA não deve ser considerada como um acontecimento único. Um aspeto fulcral da melhoria contínua é o conhecimento agregado de situações passadas, pelo que a análise FMEA possibilita a retenção de informação sobre um determinado objeto de análise.

Idealmente, esta metodologia deve ser empregue na fase de conceção do produto ou processo, de forma a evitar a ocorrência de falhas. Não obstante, pode ser aplicado durante o período de vida do produto/ processo de forma a identificar as causas de falhas e as variáveis que devem ser controladas.

Em síntese, o FMEA pode ser utilizado com os seguintes propósitos:

- Ajudar na seleção de desenhos alternativos com maior grau de fiabilidade e segurança;
- Assegurar que todos os modos de falhas e os seus efeitos são tomados em consideração;
- Identificar falhas e a severidade dos seus efeitos;
- Desenvolver critérios de teste e planeamento de equipamentos;
- Fornecer um registo do processo/produto;
- Auxiliar no planeamento da manutenção dos equipamentos.

A metodologia de análise FMEA pode ser classificada de diferentes formas, dependendo do objeto de estudo. No entanto, independentemente do tipo de FMEA, o objetivo desta metodologia é sempre minimizar o impacto de falhas, nos diferentes campos de atuação, promovendo a melhoria contínua.

2.5.1 FMEA de Produto

Também designado FMEA de projeto, a finalidade é identificar potenciais problemas originados por deficiências no projeto, que põe em risco a qualidade do produto.

O FMEA do produto não tem de ser obrigatoriamente elaborado na fase de concepção do produto. Esta técnica pode ser aplicada em produtos já existentes, como forma de identificar e eliminar problemas existentes.

O FMEA do produto destina-se a identificar potenciais modos de falha e os respetivos efeitos ainda na fase de concepção do produto, tomando em consideração todos os requisitos da produção e da montagem do produto. Uma vez identificados os modos de falha, e quantificados os possíveis efeitos, é possível iniciar um processo de classificação, de modo a se estabelecerem as ações de melhoria mais prioritárias.

O FMEA do produto assume importância significativa, uma vez que funciona como uma espécie de diário do produto, em que são registadas as ações implementadas com vista à minimização de potenciais modos de falha que ponham em risco a qualidade do produto. A criação deste registo permite a disponibilização de dados para análises futuras.

2.5.2 FMEA de processo

É elaborado de modo a evitar a ocorrência de falhas originadas no processo de fabrico. Permite identificar potenciais modos de falha que afetam a qualidade do produto e os potenciais efeitos no cliente.

Durante a análise do processo, é necessário ter em consideração todos os aspetos intervenientes no processo: pessoas, materiais, equipamentos, modos de operação e ambiente.

A análise FMEA do processo permite identificar potenciais modos de falha que afetam negativamente a qualidade do produto, identificar as causas que originam as falhas no processo e estimar o potencial efeito das falhas, e identificar e controlar as variáveis de processo que possam provocar falhas. Os potenciais modos de falha identificados

permitem categorizar os modos de falha por ordem de prioridade de intervenção, com vista à melhoria da qualidade do processo.

2.5.3 FMEA de Sistema

O FMEA de sistema foca esforços na identificação de potenciais modos de falha e potenciais situações que originem estrangulamentos num determinado sistema produtivo.

2.5.4 Identificação de potenciais efeitos de falha

Os potenciais efeitos de falha representam as consequências expectáveis percebidas pelo cliente. Cliente, na técnica FMEA, não é só entendido como o cliente final, como também é considerado o processo a jusante.

A identificação de potenciais efeitos de falha requer, para além da determinação dos potenciais efeitos, também que sejam analisados os graus de gravidade. O valor do grau de gravidade (S) determinado, que varia entre 1 e 10, reflete o impacto da falha no cliente. O valor de 1 significa que a falha não é perceptível pelo cliente e 10 reflete uma falha com consequências muito gravosas. Na tabela 4 são apresentados os valores do grau de gravidade, utilizados pela Delphi.

Efeito	Critério: Gravidade	Valor
Falha em cumprir os requisitos de segurança e regulamentares	Potencial efeito de falha afeta operações de segurança de veículos e envolve não conformidade com a regulamentação governamental, sem aviso	10
	Potencial efeito de falha afeta operações de segurança de veículos e envolve não conformidade com a regulamentação governamental, com aviso	9
Perda ou degradação da função primária	Processo/produto inoperável (perde a função primária)	8
	Produto/processo operável com um nível de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito	7
Perda ou degradação da função secundária	Produto/processo operável com um nível de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito	6
	Produto/processo operável com um nível de desempenho reduzido. Cliente um pouco insatisfeito	5
Incómodo	Ajuste, acabamento e barulho do item não está conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais de 75%)	4
	Ajuste, acabamento e barulho do item não está conforme. Defeito notado por 50% dos clientes	3
	Ajuste, acabamento e barulho do item não está conforme. Defeito notado por clientes exigentes (menos de 25%)	2
Sem efeito	Nenhum efeito perceptível	1

Tabela 4-Índice de Gravidade

(Potential failure mode and effect analysis, FMEA 4TH edition)

2.5.5 Identificação de potenciais causas de falha

Potenciais causas da falha representam o modo como a falha pode ocorrer, definida em termos que possam ser ajustados e controlados.

Existe uma relação direta entre a causa da falha e o modo de falha. A identificação minuciosa das causas dos modos de falha permite identificar controlos e planos de ação mais adequados.

O valor de ocorrência (O) representa a probabilidade de ocorrência do modo de falha. Na tabela 5 são apresentados os valores de ocorrência, pelos quais a Delphi se rege. O valor varia entre 1 e 10, 1 significando que a probabilidade de ocorrência do modo de falha é nula, devido a ações preventivas anteriormente implementadas; e 10, que representa uma muito elevada probabilidade de frequência da causa do modo de falha.

Probabilidade de Ocorrência	Critério: Ocorrência da causa (ocorrência/item)	Valor
Muito elevada	>100 em 1000 itens	10
	>1 em 10 itens	
Elevada	50 em 1000 itens	9
	1 em 20 itens	
	20 em 1000 itens	8
	1 em 50 itens	
	10 em 1000 itens	7
	1 em 100 itens	
Moderado	2 em 1000 itens	6
	1 em 500 itens	
	0,5 em 1000 itens	5
	2 em 2000 itens	
	0,1 em 1000 itens	4
	1 em 10000 itens	
Baixo	0,01 em 1000 itens	3
	1 em 100000 itens	
	<0,001 por 1000 itens	2
	1 em 1000000 itens	
Muito Baixo	Falha Eliminada	1

Tabela 5- Índice de Ocorrência

(Potential failure mode and effect analysis, FMEA 4TH edition)

2.5.6 Identificação dos Controlos

Identificação dos Controlos representam as atividades implementadas com o objetivo de prevenir ou detetar potenciais causas ou modos de falha. Estas ações são implementadas na fase de conceção do processo e do produto.

Os controlos podem ser de dois tipos:

- Prevenção – Atividades destinadas à prevenção ou à redução da probabilidade de ocorrência da causa de falha ou modo de falha, com efeitos diretos na frequência de ocorrência.
- Deteção – Atividades orientadas para a deteção atempada de causa de falha e modo de falha, de modo a que ações corretivas sejam prontamente tomadas.

Os controlos de prevenção são sempre preferíveis às atividades de deteção. Assim que identificados os controlos existentes, procede-se à atribuição de valores de deteção. O índice de deteção (D) varia entre 1, que demonstra controlos eficientes capazes de detetarem os modos de falha, e 10, que representa controlos ineficazes na deteção de modos de falha. De seguida, é apresentado na tabela 6 os valores do índice de deteção.

Probabilidade de detecção	Critério: Probabilidade de detecção	Valor
Quase Impossível	Inexistência de controlo	10
Muito Remota	Os controlos não detetam potenciais causas/mecanismos e subsequentes modos de falha	9
Muito Baixa	Possibilidade muito baixa dos controlos detetarem potenciais causas/mecanismos e subsequentes modos de falha	8
		7
Moderado	Possibilidade moderada dos controlos detetarem potenciais causas/mecanismos e subsequentes modos de falha	6
		5
Alta	Possibilidade elevada dos controlos detetarem potenciais causas/mecanismos e subsequentes modos de falha	4
		3
Muito Elevada	Os controlos certamente detetam potenciais causas/mecanismos e subsequentes modos de falha	2
		1

Tabela 6- Índice de Detecção

(Potencial failure mode and effect analysis, FMEA 4TH edition)

2.5.7 RPN- Risk Priority Number

Um passo importante no FMEA é a avaliação do risco. Risco é a combinação da gravidade do dano com a probabilidade de ele ocorrer. A avaliação de risco é um método que permite priorizar as ações a implementar.

Risk Priority Number (RPN) é o produto dos índices de Gravidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). O valor de RPN varie entre 1 e 1000. Quanto maior for o valor de RPN, maior a urgência em implementar ações corretivas e/ou preventivas.

$$RPN = S \times O \times D$$

No entanto, uma vez identificados os modos de falha e efeitos, causas e controlos, e determinando os índices de Gravidade, Ocorrência e Detecção associados, os primeiros esforços devem ser direcionados para as situações que apresentam índices de Gravidade de 10 e 9. Para modos de falha com índice de Gravidade 8, deve ser dado

ênfoque especial aos modos de falha com causa que apresentam índices mais elevados de Ocorrência e Detecção.

3. Apresentação da empresa

3.1 Delphi Automotive Systems

A Delphi Automotive Systems Portugal, sediada na região de Braga, é uma empresa pertencente ao grupo multinacional Delphi. Sediado em Troy, Michigan, EUA, é um dos maiores fornecedores mundiais de componentes para automóveis, empregando, por todo o mundo, aproximadamente 107 mil pessoas. Anualmente, movimenta cerca de 18 mil milhões de dólares. Organizada num sistema matricial, estruturada em cinco divisões, Delphi Electronics & Safety, Delphi Powertrain Systems, Delphi Packard Electrical/Electronic Architecture, Delphi Product & Service Solutions e Delphi Thermal Systems, possui mercados nos EUA, Europa e Ásia.

Max Grundig, criador da primeira marca de rádios em 1945, funda, na região de Braga, a empresa, hoje Delphi, em 1964. Na década de 70 inicia-se a produção de televisores e autorrádios. Anos mais tarde, ainda na década de 70, entra em produção as televisões a cores e os sistemas Hi-Fi. A produção de telefones sem fio inicia-se dez anos mais tarde.

Em 2003, a Grundig Car Intermédia System é comprada pela Delphi. A Delphi (figura 7), na região de Braga, especializou-se na produção de peças de plástico, peças eletrónicas, sistemas de navegação e montagem de autorrádios. Emprega cerca de 750 colaboradores e produz anualmente cerca de dois milhões de aparelhos, sendo grande parte destes aparelhos para exportação, com a garantia de extrema qualidade e fiabilidade dos equipamentos.



Figura 7-Delphi Automotive Systems Portugal

A Delphi possui uma quantidade vasta de clientes, assim como uma vasta diversidade produtos. O seu foco de produção está direcionado para componentes eletrónicos de autorrádio, sistemas de receção (antenas), *displays*, sistemas de navegação. Recentemente, a Delphi iniciou a produção painéis dos autorrádios (blendas).

Como empresa produtora de componentes eletrónicos de excelência, os seus clientes coincidem com os maiores e principais construtores automóveis mundiais:

- Volkswagen
- Opel
- Fiat
- Rolls Royce
- Audi
- Volvo
- Skoda

- Ford
- Renault
- Tata

Os esforços diários e constante que todos os colaboradores fazem têm como propósito tornar a Delphi o principal fornecedor de todos os seus clientes. Sem negligenciar qualquer cliente a nível da procura de excelência, a Delphi rege-se pelos “absolutos de excelência”:

- Foco no cliente
- Fazer bem à primeira
- Inovação
- Melhoria contínua
- Controlo através de feedback do cliente
- Trabalho em equipa

3.2 Sistema produtivo da Delphi

O complexo fabril da Delphi em Braga está dividido em dois edifícios principais. No edifício 1 procede-se à montagem dos componentes eletrónicos nos autorrádios, antenas, displays e sistemas de receção. O processo produtivo neste primeiro edifício está dividido em três secções: Montagem Automática, Montagem de Elementos e Montagem Final. O edifício 2, o edifício mais recente, tem o objetivo de produzir as blendas para os autorrádios, respondendo às necessidades da Montagem Final no edifício 1.

MONTAGEM AUTOMÁTICA

É nesta primeira secção que se inicia a produção de autorrádios e sistemas de receção. Esta secção é altamente automatizada e flexível. Esta secção é composta por dezassete linhas, responsáveis pela inserção de circuitos elétricos numa placa de circuito impresso. As máquinas de inserção automática colocam componentes tipo SMD (Surface Mounting Device) nas placas de circuito impresso, as quais se encontram já

com aplicação de pasta de solda ou cola. No final desta secção, todos os produtos são sujeitos a uma inspeção visual.

MONTAGEM DE ELEMENTOS

Esta secção é responsável pela inserção manual de componentes na placa de circuito impresso, que por variadas razões não podem ser inseridos por máquinas, e fixação, com recurso a processo de soldadura e a um processo de fixação mecânica num equipamento designado de *Clinch* (figura 8). No processo ocorrido no *Clinch*, os produtos são fixados entre placas metálicas, e os componentes são fixos mecanicamente à placa de circuitos integrados.



Figura 8- Clinch

Esta secção é composta por seis linhas de montagem, com seis postos de inspeção visual localizados imediatamente a seguir à linha de montagem, e dez equipamentos *In Circuit Test* (ICT).

As linhas de montagem são compostas por dois postos de trabalho, onde o trabalho de inserção de componentes é puramente manual; segue-se um processo de fixação mecânica dos componentes às placas de circuitos impresso com recurso a um equipamento designado *clinch*; passando para o processo seguinte que é um processo de soldadura por onda. No final deste processo, os produtos são sujeitos a inspeção visual antes de seguirem para o *sub-assembly*.

Neste momento, a Delphi Automotive Systems está equipada com duas máquinas de solda *Lead-Free* (sem chumbo). A maioria dos componentes eletrônicos é soldada recorrendo a ligas de estanho e chumbo. O chumbo possui elevada toxicidade e elevado risco de contaminação do ambiente circundante. A utilização da solda *Lead-Free* proporciona uma soldadura de elevada qualidade sem risco para a saúde dos técnicos que entram em contacto direto com esta substância.

No final do processo, todas as placas são sujeitas a inspeção visual, em que são verificados eventuais danos que os componentes tenham sofrido no processo de inserção manual ou defeitos originados durante o processo de soldadura.

Por fim, após as placas serem sujeitas a inspeção visual, são novamente sujeitos a controlo de qualidade, verificando se os circuitos impressos na placa respeitam as especificações de qualidade. Este último controlo de qualidade é realizado nos equipamentos ICT (figura 9). Estes equipamentos usam uma cama de agulhas que entram em contacto com os circuitos impressos nas placas testadas e verificam se os componentes respeitam as especificações de qualidade e, ao mesmo tempo, verificam o correto posicionamento dos componentes nas placas.



Figura 9-ICT e agulhas de teste

MONTAGEM FINAL

Neste última fase do processo produtivo, são reunidos e montados todos os elementos constituintes de um autorrádio à blenda, proveniente do Edifício 2 dependendo dos produtos, assumindo o formato final do produto. O produto é posteriormente submetido a um controlo subjetivo, também conhecido como controlo de cliente.

3.3 Planeamento da Manutenção

Na secção de Montagem de Elementos, as ações de manutenção (preventiva) são realizadas de acordo com instruções de trabalho designadas de P1 e P2.

P1 designam as tarefas que os operadores devem realizar, no mínimo, no final de cada turno. O tempo planeado para as tarefas do tipo P1 é de dois minutos, e consistem em tarefas de limpeza e organização do posto de trabalho. No final de cada turno, os operadores devem garantir que os seus postos de trabalho estejam limpos. As tarefas da instrução do tipo P1 são aplicadas do mesmo modo a quase todos os equipamentos existentes na secção de Montagem de Elementos.

As instruções do tipo P2 são realizadas semanalmente. Estas instruções definem procedimentos de limpeza e verificação mais rigorosos. O tempo planeado para as atividades de manutenção P2 é de quinze minutos.

A singuladora é um equipamento utilizado para cortar as placas de circuito impresso e localizado no início das linhas de montagem. Segundo as instruções do tipo P2, deve ser limpa com produtos de limpeza para superfícies metálicas. A lâmina de corte deve ser igualmente limpa e inspecionada relativamente a sinais de deterioração.

Para os postos de trabalho da linha de montagem de elementos, os operadores quando executam as tarefas P2 têm a responsabilidade pela limpeza de pó e outras sujidades, assim como preservar as condições de limpeza das prateleiras existentes. Os elevadores, ventoinhas e armários são também alvos de limpeza de pó.

A manutenção planeada das linhas de montagem de elementos é realizada trimestralmente, geralmente ao fim de semana, de modo a não prejudicar a

capacidade produtiva da secção. As ações de manutenção preventiva levadas a cabo estão previamente definidas:

- Limpeza do motor de elevação;
- Limpeza e lubrificação das guias do cilindro;
- Verificação da altura do elevador em relação à linha;
- Verificação dos sensores de limite;
- Verificação dos *Stoppers* e sensores ao longo da linha;
- Aspirar e soprar o lixo das ventoinhas dos motores;
- Verificar se os motores vertem óleo;
- Levantar topos e apoios e limpar o interior dos motores;
- Verificação do estado das correias;
- Limpeza dos motores de arrefecimento de tabuleiros;
- *Clinch*- Retirar ferramenta;
- *Clinch*- Limpeza de resíduos;
- *Clinch*- Limpeza e lubrificação dos veios dos cilindros;
- *Clinch*- Mudança das correias da linha;
- *Clinch*- Colocação da ferramenta.

3.4 Monitorização da Manutenção

Na eventualidade de ocorrência de uma avaria em algum equipamento, estes estão equipados com um sistema de alerta em caso de avaria que lança um aviso para o sistema de gestão da manutenção, o *Softlab*. Paralelamente é enviado um alerta visual para um sistema *andon*. *Andon* é uma ferramenta utilizada no âmbito do *Lean Manufacturing* como forma de gestão visual de ocorrência de avarias. Este sistema permite que o processo produtivo seja interrompido e lança um alerta de necessidade de intervenção dos técnicos de manutenção.

Aquando do lançamento do alerta para o sistema *andon*, é identificado a secção que necessita de intervenção e, mais especificamente, o equipamento avariado. É também contabilizado o tempo em que o equipamento está sem assistência. Este sistema está espalhado pelo *gemba*, e cabe aos técnicos de manutenção verificarem nos monitores

a existência de avarias. Não é lançado nenhum alerta mais visível para os computadores. O que potencia a que, caso os técnicos de manutenção não estejam permanentemente atentos aos monitores do sistema *andon*, o equipamento avariado fique sem assistência por tempo desnecessário.

4. Avaliação do impacto da criação do Centro de Manutenção

No edifício 1 inicialmente as funções Produção e Manutenção estavam fisicamente separadas. Na eventualidade de uma avaria e de ser necessário assistência de técnicos de manutenção, por vezes era exigido que estes técnicos percorressem distâncias elevadas para que a assistência pudesse ser o mais pronto possível.

No âmbito do TPM pretende-se que a função manutenção seja parte integrante do sucesso da organização e que os departamentos Manutenção e Produção trabalhem de forma integrada. No entanto, na Delphi as atividades de manutenção eram realizadas no departamento de manutenção, que se encontrava distante da localização dos equipamentos. No departamento estavam alocados equipamento de análise, ferramentas, documentação (instruções) e técnicos, e realizavam-se as ações corretivas.

A parte dedicada às ações de manutenção foi deslocada posteriormente para o *gemba*, e a desempenhar as suas funções a partir de Outubro. O CAP iniciou as suas funções a partir do mês de Outubro. Desta forma, foi possível integrar a função Produção com a função Manutenção.

A criação de um espaço no *gemba* para apoio às atividades de manutenção já tinha sido implementado no passado, numa outra secção, com resultados positivos. Face ao sucesso das melhorias alcançadas no passado, foi decido a criação de Centro de Apoio à Produção (CAP) dedicado às secções Montagem de Elementos e Montagem Final.

Neste capítulo será analisado o impacto que o CAP teve na secção Montagem de Elementos, especificamente no fluxo produtivo de dois produtos de elevada qualidade, Audi e Volkswagen Mid HD. Os equipamentos em questão são o conjunto de quatro ICT's, uma linha de montagem e um mecanismo de montagem, *sub-assembly*. Este impacto será avaliado pelas métricas de manutenção MTTR e MTBF e pelo OEE.

Nesta secção procede-se à análise de métricas de fiabilidade e de desempenho do CAP no sistema produtivo. Uma vez que o centro de apoio às tarefas de manutenção foi

deslocado, é expectável que o tempo de reação a avarias sofra melhorias, assim como a disponibilidade dos equipamentos. São avaliados, o MTTR, o MTBF, a métrica OEE, de forma a avaliar o impacto das práticas decorrentes do TPM. Este estudo decorreu entre os meses de Outubro de 2011 até ao mês de Maio de 2012. O mês de Outubro foi o último mês em que a função manutenção funcionou nas instalações antigas.

São também analisados os ganhos em termos de desperdício de movimentos obtidos com a deslocação do centro de manutenção para uma posição mais central no *gamba*.

4.1 Desperdício de Movimentos

Até Outubro de 2011, a Manutenção estava distanciada da produção, e na necessidade de intervenção, exigindo que os técnicos que percorressem longas distâncias, em caso de necessidade de intervenção. Portanto, à luz da filosofia *kaizen*, as distâncias percorridas são atividades que não acrescentam valor e, por conseguinte, desperdícios que devem ser minimizados.

A análise efetuada compara as distâncias percorridas pelos técnicos de manutenção para o início e fim das secções de Montagem de Elementos e Montagem Final, a partir do anterior centro de manutenção (LEP) e do atual centro de manutenção (CAP) (figura 10). A análise das distâncias percorridas permite quantificar as melhorias obtidas relativamente à minimização dos desperdícios originados por movimentos excessivos (anexo I).

O antigo centro de manutenção era designado de LEP.

Os dados obtidos das distâncias percorridas estão presentes nas tabelas 7 e 8:

		Montagem Final	
		Início da Secção	Fim da Secção
LEP		103	55,8
CAP		35	80
Melhoria		66,02%	-43,37%

Tabela 7-Análise das distâncias percorridas para a Montagem Final

		Montagem de elementos	
		Início da Secção	Fim da Secção
LEP		152,5	118
CAP		65	38
Melhoria		57,38%	67,80%

Tabela 8-Análise das distâncias percorridas para a Montagem de Elementos

No anexo I estão representados os trajetos necessários a percorrer pelos técnicos de manutenção. Para efeitos de cálculo das melhorias obtidas através da redução dos desperdícios, determinou-se as distâncias desde o antigo centro de manutenção até às áreas inicial e final das secções Montagem de Elementos e Montagem Final. De modo análogo, foram determinadas as distâncias percorridas pelos técnicos de manutenção, a partir do CAP para as mesmas zonas de cada uma das secções afetadas pelo CAP.

Com a realocização do centro de manutenção, a secção Montagem de Elementos foi a que mais beneficiou, uma vez que para todas as zonas da secção a distância percorrida é sempre menor do que na situação do LEP.

Por outro lado, os ganhos obtidos, através da minimização das distâncias percorrida, da secção Montagem Final não refletem a mesma tendência positiva da secção Montagem de Elementos. Ou seja, a criação do CAP apenas é benéfico, como estratégia de minimização dos desperdícios de movimento, para o início da secção. Para a parte final da secção, as distâncias percorridas são superiores às da situação prévia.

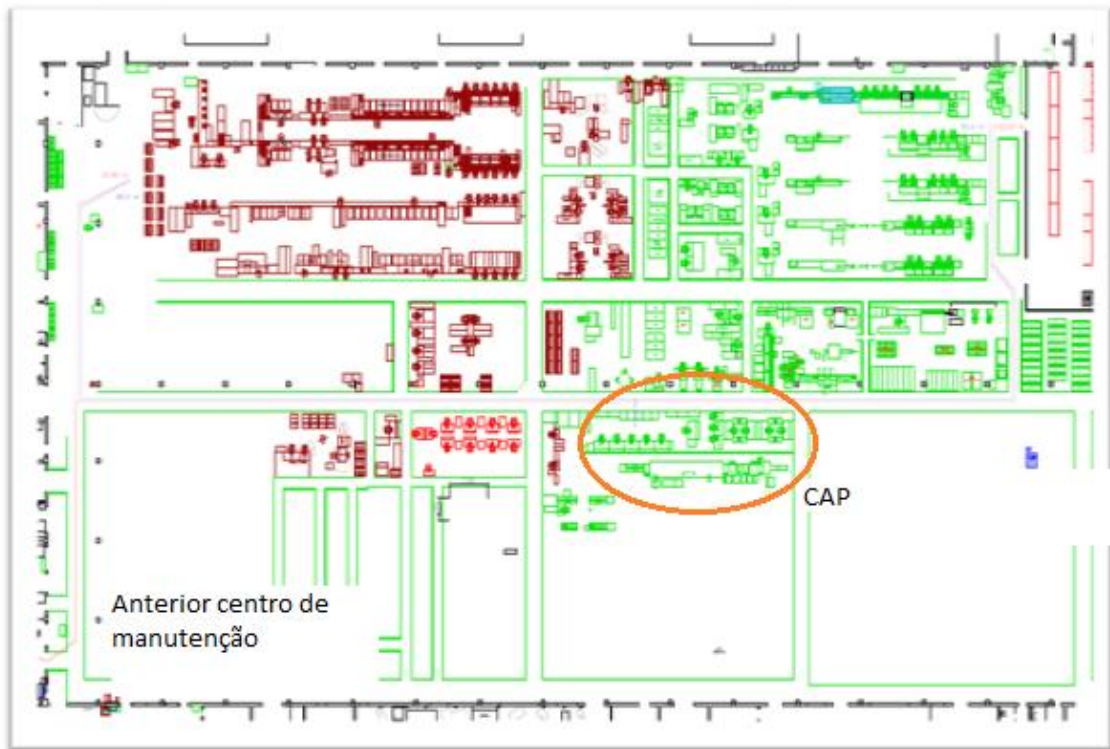


Figura 10- Planta do gamba

4.2 Cálculo do Mean Time To Repair

Como definido anteriormente, o MTTR, corresponde ao tempo requerido para executar uma ação corretiva, de modo a que o equipamento volte a funcionar nas condições normais. Nesta métrica podem estar inseridos o tempo de reparação, o tempo de reação, o tempo logístico (no caso de ser necessário a encomenda de alguma peça) e tempo de diagnóstico. Neste caso concreto, o MTTR inclui o tempo de reação e o tempo de reparação.

4.2.1 Tempo de Reação

Dada a localização do centro de manutenção sofreu uma deslocação, é expectável que o tempo de reação (tabela 9 e gráfico 1) evidencie uma melhoria.

O cálculo do tempo de reação foi efetuado calculando a diferença entre o início da avaria e o início da intervenção. Este é o período de tempo que decorre desde que o

técnico de manutenção é informado da existência da avaria até que se desloca ao equipamento para iniciar a intervenção.

Os dados foram recolhidos diretamente do sistema de gestão de manutenção da Delphi.

O alvo de análise é o processo produtivo anteriormente enunciado. Os equipamentos em análise são os quatro ICT's (16,17,18 e 19) e a linha de montagem.

	Tempo Médio de Reação (minutos)							
	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
ICT--019	19,00	34,22	58,50	19,60	13,07	19,36	11,55	13,29
ICT--018	50,50	25,09	13,20	21,38	43,57	7,14	6,57	25,00
ICT--017	51,67	19,27	51,40	23,32	13,77	14,70	10,00	25,17
ICT--016	40,85	40,17	4,33	19,00	30,29	9,17	7,44	8,00
L-STLD-018	17,00	695,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00	142,50

Tabela 9-Tempo médio de reação

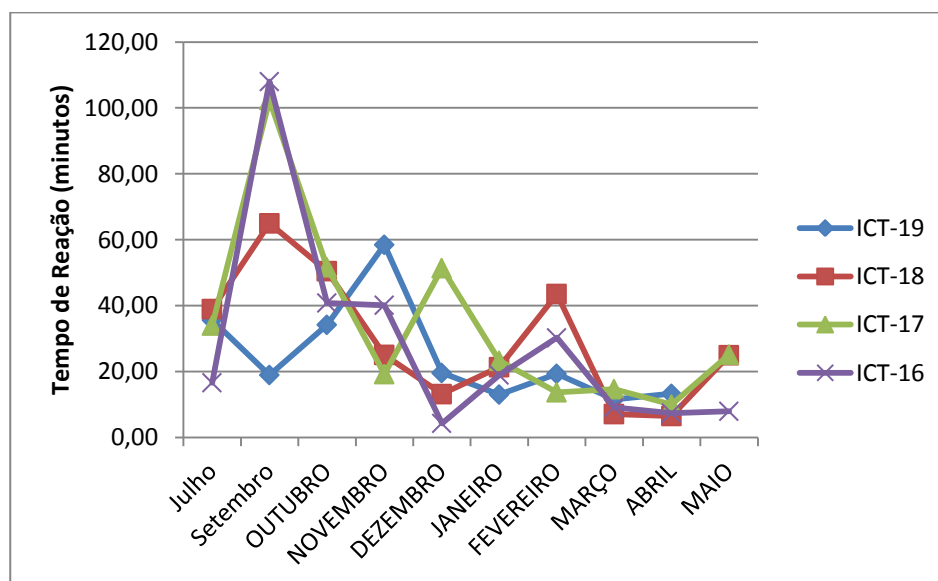


Gráfico 1-Evolução do tempo médio de reação

De salientar que na análise do gráfico 1 não estão incluídos os valores registados do tempo médio de reação para a linha. Isto deve-se ao facto de, como é possível verificar na tabela 9, existirem valores de tempo de reação extraordinariamente elevados, que acabam por dificultar a análise dos restantes equipamentos, como se pode ver na tabela 9.

Apesar de a linha de produção estar relativamente próxima do CAP, os tempos de reação registados não refletem qualquer tipo de tendência, pois há meses em que não há quaisquer registos de avarias (Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Abril) e outros meses que os registos indicam situações incomuns (Novembro e Maio). No entanto estas ocorrências podem ser resultado de situações em que, no momento de resposta às avarias, não tenha sido dada a indicação ao *software* de gestão da manutenção que um técnico já se encontrava junto do equipamento a repará-lo e a desenvolver as atividades para recuperar o equipamento segundo o tempo de reação.

Entre os meses de Outubro e Maio os dados evidenciam grandes oscilações no tempo médio de reação. Isto deve-se ao facto de o CAP só prestar assistência a avarias elétricas e mecânicas, e os ICT's maioritariamente apresentarem avarias eletrónicas. Isto obriga a que os técnicos de manutenção sejam chamados a intervir, e por sua vez têm de requerer a intervenção do departamento responsável pelos testes a fim de se resolver a avaria. No entanto, é da responsabilidade dos técnicos do CAP que sejam estes a responderem primeiramente às avarias lançadas para o sistema de gestão de manutenção. Uma vez junto do equipamento, realizam o diagnóstico a partir do qual é decidido qual o departamento responsável pela correção da avaria, se o departamento de testes, caso a avaria seja eletrónica, se o departamento de manutenção, se a avaria for elétrica ou mecânica.

4.2.2 Tempo de reparação

O tempo de reparação é calculado como a diferença entre início de intervenção e o fim da avaria. Como o MTTR é definido como o tempo necessário para recuperar um equipamento ao seu estado normal de funcionamento, é assumido que uma vez reparado o equipamento, este está em condições de voltar a trabalhar, e portanto usa-se como limite o fim da avaria.

Os dados relativos ao tempo despendido para reparações de equipamentos na secção Montagem de Elementos são apresentados na tabela 10 e no gráfico 2.

Tempo Médio de Reparação (minutos)								
	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
ICT--019	24,86	25,33	8,00	11,70	83,20	27,43	15,45	34,79
ICT--018	16,00	67,00	14,40	33,00	83,57	37,86	88,43	11,80
ICT--017	8,83	50,73	181,80	15,05	16,92	52,40	16,00	32,00
ICT--016	51,46	36,33	16,67	46,09	51,71	20,17	48,00	36,00
L-STLD-018	1,00	3,00	0,00	0,00	0,00	47,50	0,00	494,00

Tabela 10- Tempos de reparação

Apesar de não existir um registo completo de avarias para a linha de produção, os dados existentes não permitem identificar qualquer tipo de tendência, uma vez que os valores registados são extremamente díspares.

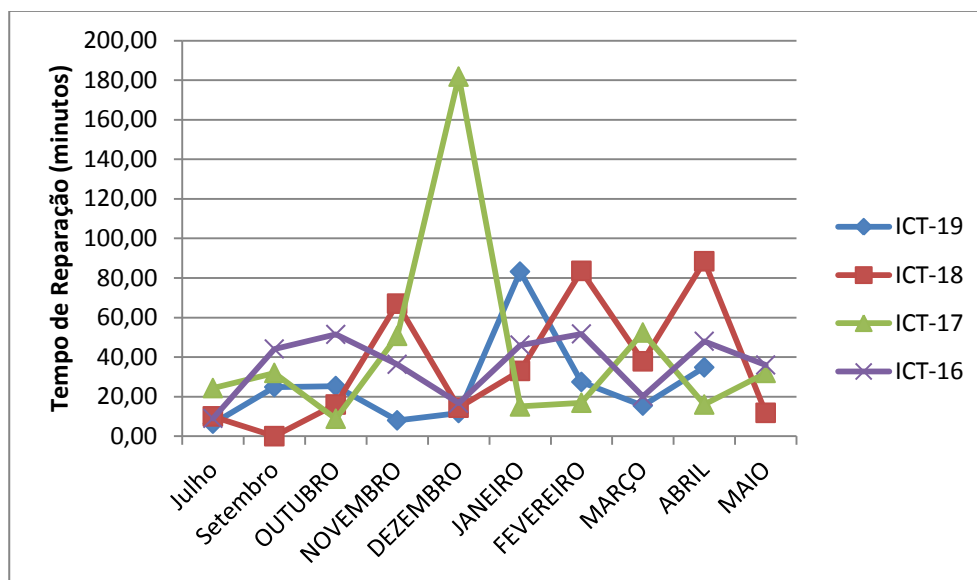


Gráfico 2- Tempo médio de reparação (minutos)

Pelos mesmos motivos anteriormente apresentados, no gráfico 2 também não estão incluídos os valores registados de tempo de reparação para a linha de montagem.

Para os ICT'S, os valores registados do tempo de reparação não evidenciam melhorias significativas. Isto deve-se ao facto de as intervenções que o CAP realiza serem apenas mecânicas e elétricas. Caso os equipamentos evidenciem avarias ao nível eletrónico, a responsabilidade da manutenção corretiva do equipamento transita para o departamento de testes. No entanto, como anteriormente referido, é da responsabilidade dos técnicos do CAP a primeira assistência e diagnóstico. Todavia, os

registos de ocorrência de avaria ficam em aberto até o departamento de testes concluir a intervenção.

O propósito da criação do CAP foi tornar as intervenções mais rápidas. No entanto, os sistemas de teste ICT apresentam grandes oscilações no tempo de reparação, não sendo possível estabelecer uma conclusão concreta relativamente ao tempo despendido nas reparações dos sistemas ICT.

Assim, juntando as parcelas constituintes do MTTR, tempo de reação e tempo de reparação, obteve-se os dados apresentados na tabela 11 e no gráfico 3.

		Mean Time To Repair= Reação+Reparação (minutos)							
		OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
ICT--019		43,86	59,56	66,50	31,30	96,27	46,79	27,00	13,20
ICT--018		66,50	92,09	27,60	54,38	127,14	45,00	95,00	36,80
ICT--017		60,50	70,00	233,20	38,37	30,69	67,10	26,00	57,17
ICT--016		92,31	76,50	21,00	65,09	82,00	29,33	55,44	44,00
L-STLD-018		18,00	698,00	0,00	0,00	0,00	59,50	0,00	636,50

Tabela 11- Mean Time to Repair

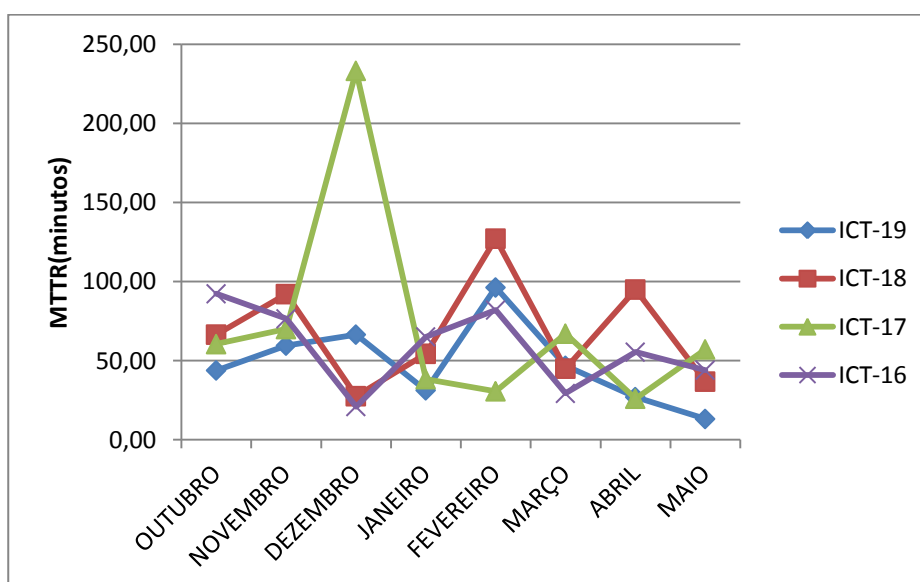


Gráfico 3-Evolução do Mean Time to Repair

Como em situações anteriores, os dados relativos à linha de montagem são omitidos devido à deficiência da recolha de dados.

Como é possível verificar na tabela 11 e no gráfico 3 apresentados, os valores registados de MTTR apresentam oscilações, motivados, principalmente, por tempos de reparação elevados. Seria expectável que, uma vez que os técnicos de manutenção estão mais próximos dos equipamentos, que até os tempos de reparação sofressem melhorias através da intensificação da manutenção ou pela adoção de estratégias de manutenção mais eficientes. No entanto, o que acontece é que se a avaria for eletrónica, é necessária a intervenção do departamento de testes, o que obriga a que os técnicos de manutenção, numa fase inicial, sejam requisitados para assistência. Uma vez concluído que a avaria não é nem elétrica nem mecânica é necessário solicitar a assistência do departamento de testes, deixando o registo de início de intervenção aberto.

A indisponibilidade dos técnicos de manutenção é outro motivo para os registos de tempo médio de reparação sejam tão elevados, uma vez que estes também têm de prestar assistência a secção Montagem Final, que tem maior área e maior número de equipamentos que a secção Montagem de Elementos.

Relativamente aos dados de avarias recolhidos da linha de produção, estes não permitem identificar alguma tendência de melhoria contínua, devido à escassez dos dados. Esta situação é resultado da informalidade provocada pelo deficiente sistema de registo de avarias, que nem sempre tem a capacidade de lançar os alertas devidos para o sistema de gestão de manutenção.

4.3 Cálculo do *Mean Time Between Failures*

O Mean Time Between Failures (MTBF) é uma métrica de fiabilidade que avalia o tempo médio entre duas avarias consecutivas, não necessariamente avarias do mesmo tipo. A unidade de tempo utilizada neste estudo é o minuto, visto que o cálculo do tempo de reação, do tempo de reparação e do MTTR está também em minutos.

Para a avaliação do MTBF, após a implementação do CAP, foram analisados os registo de avarias de forma a calcular a taxa de falhas. A taxa de falhas, λ , representa o número de avarias por unidade de tempo.

$$\lambda = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de avarias}}{\text{Tempo}}$$

Para o cálculo mensal da taxa de avarias, o tempo utilizado é o tempo total de produção mensal. Como se trata de um equipamento que não tem necessidade de interrupções planeadas, assumiu-se que um dia tem 17 horas de funcionamento, e um mês tem 22 dias úteis.

Uma vez contabilizados as avarias, procedeu-se ao cálculo da taxa de avarias. A taxa de avarias dos ICT's é apresentada na tabela 12. No entanto, como aconteceu para outras métricas, existem meses que não apresentam quaisquer registos de avaria para a linha de montagem. O gráfico 4 apresenta a variação da taxa de avarias no período em questão.

	Taxa de Avarias (minutos)				
	ICT 16	ICT 17	ICT 18	ICT 19	LINHA
Julho	0,0001400 6	0,0001400 6	4,66853E -05	0,0001400 6	3,63108E-05
Setembro	0,0003501 4	0,0003501 4	3,5014E- 05	0,0001050 4	3,5014E-05
Outubro	6,71E-04	3,10E-04	1,03E-04	3,61E-04	0,00010319 9
Novembro	2,80E-04	7,00E-04	5,14E-04	4,20E-04	4,66853E-05
Dezembro	2,67E-04	4,46E-04	4,46E-04	1,78E-04	0
Janeiro	5,14E-04	8,87E-04	3,73E-04	4,67E-04	0
Fevereiro	3,43E-04	6,37E-04	3,43E-04	7,35E-04	0
Março	4,64E-04	4,46E-04	3,12E-04	6,24E-04	0,00026738
Abril	4,64E-04	4,64E-04	3,61E-04	5,68E-04	0,00010319 9
Maió	4,29E-04	3,68E-04	3,06E-04	8,58E-04	0

Tabela 12- Número de avarias/minuto

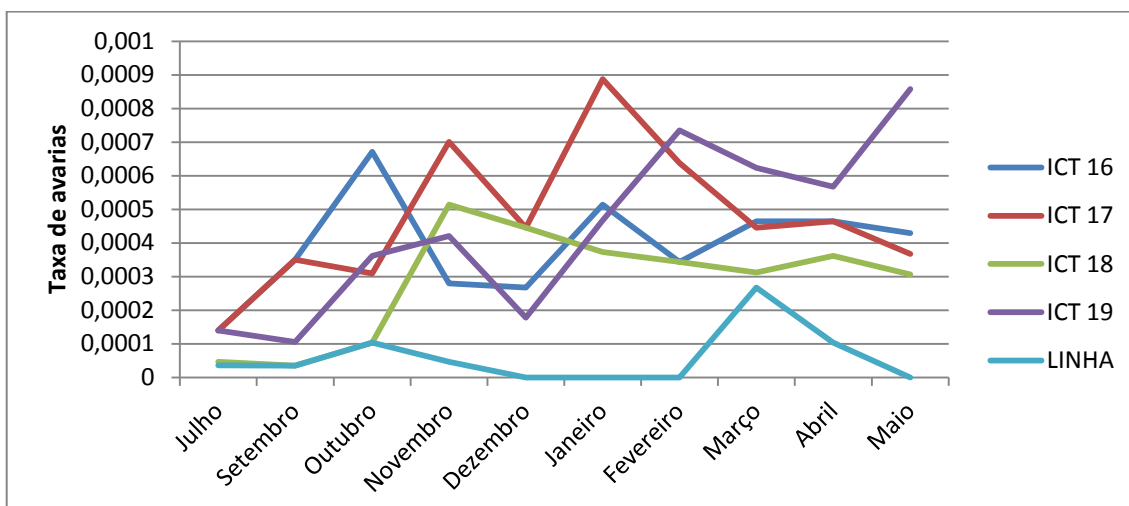


Gráfico 4- Variação da taxa de avarias

Como é possível verificar no gráfico da evolução da taxa de avarias, a secção Montagem de Elementos não registou melhorias na taxa de avarias após a implementação do CAP.

O MTBF é o inverso da taxa de avarias, como é apresentado na equação seguinte.

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

De seguida, e recorrendo à equação apresentada, efetua-se o cálculo do MTBF. Os valores de MTBF são apresentados na tabela 13. O gráfico 5 representa a evolução do MTBF ao longo do período de análise.

	MTBF(minutos)				
	ICT 16	ICT 17	ICT 18	ICT 19	LINHA
Julho	7140	7140	21420	7140	27540
Setembro	2856	2856	28560	9520	28560
Outubro	1490,77	3230,00	9690,00	2768,57	9690
Novembro	3570,00	1428,00	1947,27	2380,00	21420
Dezembro	3740,00	2244,00	2244,00	5610,00	#DIV/0!
Janeiro	1947,27	1127,37	2677,50	2142,00	#DIV/0!
Fevereiro	2914,29	1569,23	2914,29	1360,00	#DIV/0!
Março	2153,33	2244,00	3205,71	1602,86	3740
Abril	2153,33	2153,33	2768,57	1761,82	9690
Maio	2331,43	2720,00	3264,00	1165,71	#DIV/0!

Tabela 13- MTBF

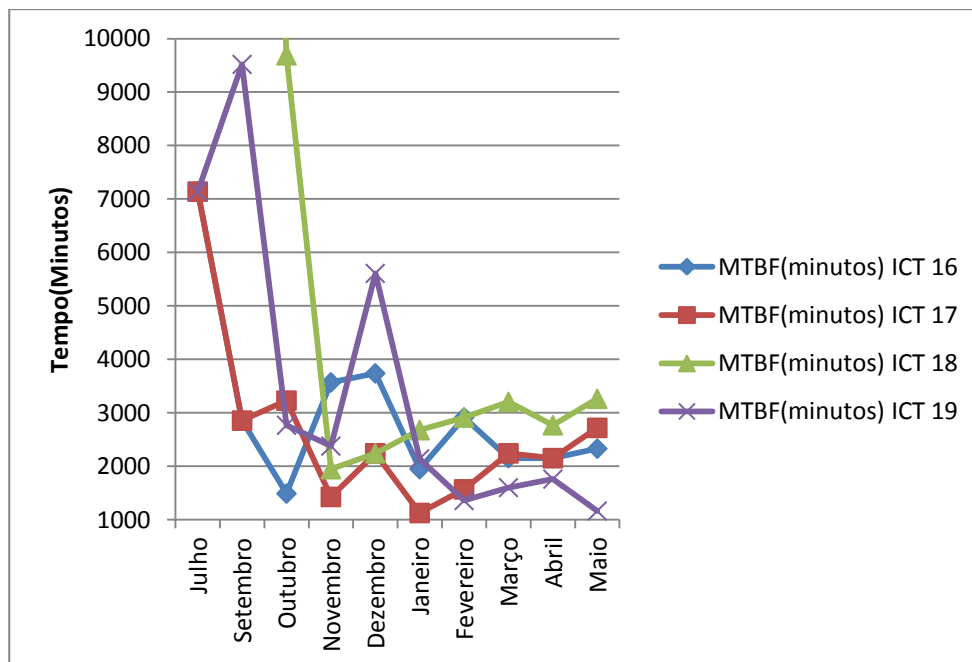


Gráfico 5-Evolução do MTBF

Após um período inicial de arranque do CAP, seria expectável que o tempo médio entre avarias fosse aumentando. No entanto, pela análise do gráfico 5 tal situação não se verificou, e até se verificou uma deterioração do MTBF. Aliás, o tempo médio entre avarias registou inúmeras oscilações, não sendo possível afirmar que tenha havido

melhoria desta métrica após a implementação do CAP. Como referido anteriormente, a correção das avarias eletrónicas não são da responsabilidade dos técnicos presentes no CAP, mas sim do departamento de testes. Não obstante, de acordo com uma filosofia de realização de esforços interdepartamentais promovida pelo TPM, não têm sido desenvolvidos esforços suficientes de acordo com o pilar Manutenção Planeada que garantam a maximização desta métrica.

4.4 Cálculo da Disponibilidade de equipamentos

A métrica com mais incidência para a produção é a Disponibilidade. Como anteriormente referido, a disponibilidade é o grau a que um equipamento está acessível e operacional. Por outras palavras, é o tempo em que um equipamento está em condições de executar as suas tarefas.

A disponibilidade é calculada a partir do MTTR e do MTBF, o tempo em que um equipamento não apresenta avarias e o tempo que demora a recuperar o equipamento para as suas condições de funcionamento. O cálculo é efetuado recorrendo à equação seguinte, considerando um estado estacionário no período de análise.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Na tabela 14 apresentam-se os dados relativos à disponibilidade dos equipamentos da secção Montagem de Elementos.

	Disponibilidade							
	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
ICT--019	98,44%	97,56%	98,83%	98,56%	93,39%	73,23%	98,49%	98,88%
ICT--018	99,32%	95,48%	98,78%	98,01%	95,82%	98,62%	96,68%	98,89%
ICT--017	98,16%	95,33%	90,59%	41,51%	98,08%	97,10%	98,81%	97,94%
ICT--016	94,17%	97,90%	99,44%	71,00%	97,26%	98,66%	97,49%	98,15%
L-STLD-018	99,8%	96,8%	0,0%	0,0%	0,0%	98,4%	100,0%	0,0%

Tabela 14- Índice de disponibilidade

Como é possível verificar, a linha de produção apresenta um elevado nível de disponibilidade nos períodos em que é possível determinar. Isto deve-se ao facto de para diversos meses não existirem registos de avarias no software de gestão da manutenção. Por exemplo, nos meses de Dezembro a Janeiro não há qualquer registo de avarias, e, portanto, os dados recolhidos não permitem fazer uma avaliação concreta da evolução da disponibilidade da linha. No entanto, para os meses em que há registos, a linha de produção apresenta valores de disponibilidade altos.

Para facilitar a análise da evolução da disponibilidade dos equipamentos, foi excluído do gráfico 5 os dados relativos à linha de montagem. Os dados da linha de montagem não permitem realizar uma análise conclusiva, uma vez que, em diversos meses, não existem registo de intervenções.

O gráfico 6 mostra a variação da disponibilidade dos ICT.

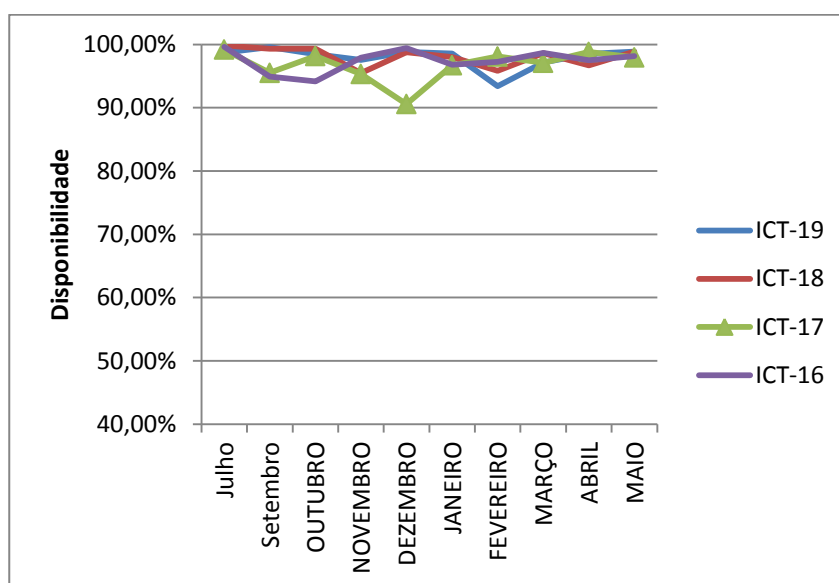


Gráfico 6- Disponibilidade de equipamentos

Pela análise do gráfico 6 é possível verificar que os ICT's apresentam um nível de disponibilidade relativamente estável, excetuando casos pontuais, não se evidenciando motivos que levem a dizer que os ICT's sofrerem melhorias a nível da disponibilidade dos mesmos.

4.5 Avaliação da métrica Overall Equipment Effectiveness

Nesta secção procede-se ao cálculo da métrica OEE. Esta métrica é fulcral para o TPM, visto que um dos objetivos da metodologia é a maximização desta métrica TPM. No entanto, a Delphi, para a secção de Montagem de Elementos, não procede ao seu cálculo.

A métrica OEE pode ser aplicada em quase todo o tipo de sistemas, desde um equipamento, a uma secção ou até ao processo fabril completo.

Esta métrica relaciona três importantes fatores: a qualidade, o desempenho e a disponibilidade. A disponibilidade, no âmbito do OEE, é diferente da disponibilidade calculada anteriormente. Na secção anterior, o cálculo da disponibilidade refletia o período em que o equipamento está acessível para operar. No OEE, o valor do índice não é só afetado pelas avarias mas também por outros desperdícios que impedem a constante utilização do equipamento nas condições ótimas.

O período de análise do OEE foi entre o mês de Outubro e o mês de Maio, com o cálculo do OEE a ser efetuado diariamente, ou seja, após a implementação do CAP, de forma a avaliar o seu impacto no desempenho global da secção de Montagem de Elementos.

4.5.1 Cálculo do índice Qualidade

O cálculo do índice Qualidade teve grande influência na escolha da linha *lead free* como alvo do cálculo do OEE. Como anteriormente referido, os produtos produzidos na linha *lead-free* têm requisitos de qualidade elevados, e portanto é indispensável a realização de avaliações a esta linha. Uma vez que a gama de produtos produzidos nesta linha é reduzida, permite uma melhor monitorização da qualidade dos produtos aí produzidos.

A recolha dos dados de Qualidade da linha *lead free* foi efetuada durante os meses de Maio a Outubro. Os dados de qualidade referem-se ao conjunto de dois produtos, que formam a gama operatória da linha de montagem *lead-free*.

No índice Qualidade, para além dos produtos rejeitados por não cumprirem os requisitos de qualidade, também são contabilizados na mesma categoria os produtos sujeitos a retrabalhos, uma vez que estes, embora recuperáveis, resultam de operações que prejudicaram a qualidade do produto.

O valor padrão de comparação do índice de qualidade é 99%, valor estimado por Nakajima (1988) como percentagem ideal de produtos conformes, de forma a atingir o patamar de excelência. Na tabela 15 e no gráfico 7 está representado o índice de qualidade calculado no período de avaliação, comparando com o valor de referência 99%.

	Qualidade observada	Qualidade ideal
Outubro	91,98%	99%
Novembro	92,40%	99%
Dezembro	92,80%	99%
Janeiro	93,20%	99%
Fevereiro	97,21%	99%
Março	95,50%	99%
Abril	91,21%	99%
Maio	92%	99%

Tabela 15- Índice de Qualidade

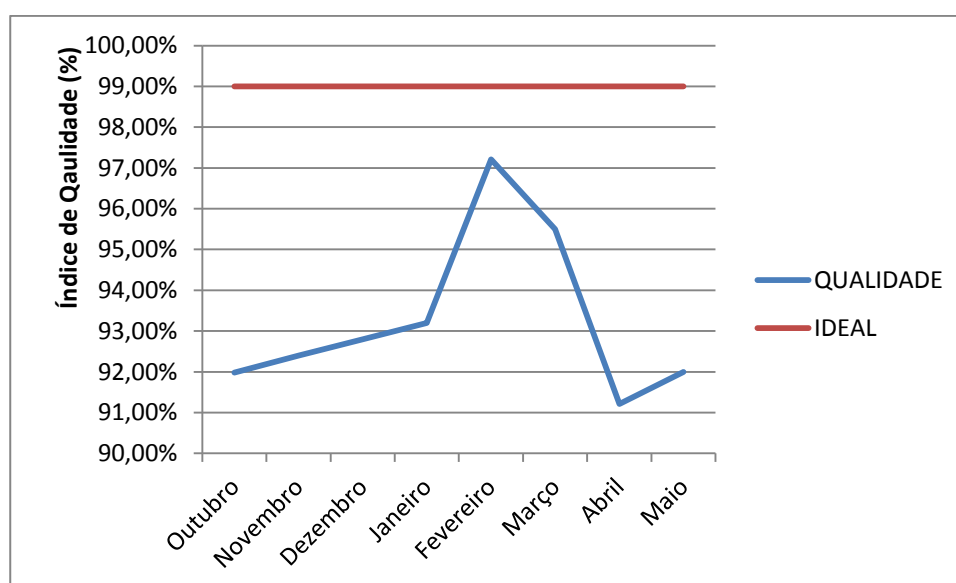


Gráfico 7- Evolução mensal do índice de qualidade

Como é possível verificar no gráfico 7, o índice de qualidade, até Fevereiro, registou melhorias significativas. No entanto, a partir de Março este índice sofreu uma quebra

abrupta. Os meses de Abril e Maio registaram valores do índice de qualidade baixos. Este retrocesso no índice de tem como causa problemas na máquina de solda, que, naturalmente, nos mesmos meses apresentou um agravamento na taxa de avarias. A principal causa de avaria da máquina de solda lead-free são as correias de transporte das paletes. Quando ocorre uma avaria nas correias de transporte, os produtos são expostos a altas temperaturas por períodos mais longos do que o predefinido, acabando por prejudicar a qualidade dos produtos. Outro tipo de avaria, prejudicial à qualidade dos produtos, tem a ver com o *nozzles* da máquina de solda. Os *nozzles* são dispositivos cuja função é direcionar as ondas de calor. Quando a direção destes dispositivos é deficiente, estes direcionam as ondas de calor para as secções erradas dos produtos, acabando por deteriorar a qualidade.

Como descrito anteriormente, o fluxo produtivo destes produtos inicia-se com os testes de ICT antes de entrarem no processo. No final, são sujeitos a inspeção visual. As tarefas desempenhadas na linha de montagem são sobretudo manuais, existindo apenas dois equipamentos, o *clinch* e a máquina de solda, as duas principais causas de não conformidade.

4.5.2 Cálculo do índice Desempenho

O índice de desempenho é automaticamente calculado na linha de montagem, como forma de monitorização imediata do desempenho da linha.

O índice de desempenho, internamente designado de Overall Effectivess (OE), compara a quantidade de produtos produzidos e a quantidade planeada. Por outras palavras, compara o tempo consumido para produzir os produtos com o tempo disponível para a produção planeada. Os dados obtidos foram recolhidos diretamente do sistema de gestão da produção, que faz a monitorização constante da linha (tabela 16 e gráfico 8). Os fatores que influenciam o valor de este índice são a redução da velocidade e micro-paragens.

Para o índice de desempenho, Nakajima (1988) estimou o desempenho de excelência em 95%.

	Desempenho observado	Desempenho ideal
Outubro	85,68%	95%
Novembro	83%	95%
Dezembro	88,70%	95%
Janeiro	80,90%	95%
Fevereiro	86,56%	95%
Março	92,56%	95%
Abril	90,05%	95%
Maio	89,08%	95%

Tabela 16- Índice de Desempenho

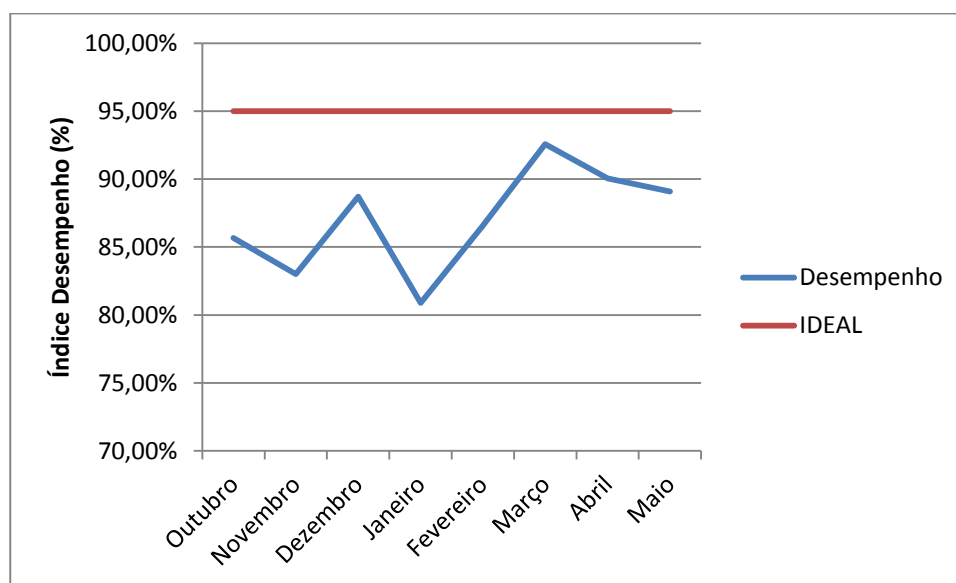


Gráfico 8-Evolução mensal do índice de desempenho

Pela análise da tabela 16 e do gráfico 8 acima apresentados, é possível verificar que ao nível do desempenho da linha, durante os meses de Outubro a Maio foi notória a melhoria do desempenho, com ligeiras flutuações mas com recuperações imediatas, não prolongando o período de retrocesso, e até superando os resultados obtidos nos meses anteriores. Os valores registados ainda estão algo distantes do valor de desempenho de 95% apresentado por Nakajima (1988). No entanto, os dados revelam uma tendência positiva.

Os dados obtidos através do índice de desempenho permitem afirmar que as quantidades realmente produzidas se aproximam das quantidades planeadas. No período de análise, coincidente com o período de análise do impacto do CAP, é possível verificar que os desperdícios motivados por problemas nos transportes internos sofreram melhoria, o que permitiu melhorar o índice de desempenho.

Problemas de transportes internos são problemas com origem nas correias de transporte das paletes, tanto na parte inferior como na parte superior da linha, e avarias dos elevadores que transportam as paletes, que provocam uma diminuição da velocidade de transporte, quando não provocam avarias mais graves e paragens mais prolongadas, prejudicam o índice de desempenho. As faltas de material externo, motivadas por problemas de logística, que afetam as quantidades planeadas para produção, também registaram melhoria ao longo do mesmo período. Paralelamente, o desperdício provocado por falta de material entre secções também registou melhorias.

4.5.3 Cálculo do índice Disponibilidade

Este índice calcula o tempo em que o equipamento esteve realmente a ser operado. É afetada por avarias de equipamentos e perdas de tempo para mudanças de ferramentas e ajustes. Nakajima (1988) sustenta que o índice de disponibilidade deve apresentar um valor mínimo de 90%.

Para o cálculo do índice de disponibilidade, o número de horas produtivas planeadas considerado foi de 17 horas por dia (2 turnos), dos quais foram excluídos os paragens para manutenção planeada, horário de almoço, intervalos e reuniões.

Internamente, este índice é calculado através da razão entre as horas produtivas e as horas reais.

Os valores de disponibilidade são apresentados na tabela 17.

	Disponibilidade observada	Disponibilidade Ideal
Outubro	96,1%	90%
Novembro	94,5%	90%
Dezembro	95,7%	90%
Janeiro	91,0%	90%
Fevereiro	92,3%	90%
Março	94,3%	90%
Abril	94,3%	90%
Mai	93,2%	90%

Tabela 17-índice de disponibilidade

Como se pode verificar na tabela 17, o índice de disponibilidade regista valores acima dos 90%. Isto significa que, do ponto de vista da disponibilidade, a Delphi pode ser

considerada um fabricante de classe Mundial. No entanto, e apesar de os dados demonstrarem que é facilmente atingido o patamar de excelência de 90%, não se registam melhorias assinaláveis, estando as oscilações dentro de limites que nunca permitem que a disponibilidade apresente valores inferiores a 90%.

4.5.4 Cálculo do OEE

Nakajima (1988) refere que, para uma organização ter um de desempenho global de excelência, o produto dos três índices, qualidade (99%), disponibilidade (90%) e desempenho (95%), deve que ser superior a 85%.

$$0.99 \times 0.95 \times 0.90 = 0.85$$

Na tabela 18 estão apresentados os valores mensais do cálculo do OEE para a secção Montagem de Elementos, durante os meses de Outubro a Maio. O gráfico 8 apresenta a evolução do OEE durante o período de avaliação.

	OEE observado	Condição ideal
Outubro	75,39%	85%
Novembro	72,50%	85%
Dezembro	78,70%	85%
Janeiro	69,10%	85%
Fevereiro	77,79%	85%
Março	83,43%	85%
Abril	77,70%	85%
Maio	76,80%	85%

Tabela 18-Evolução mensal do OEE

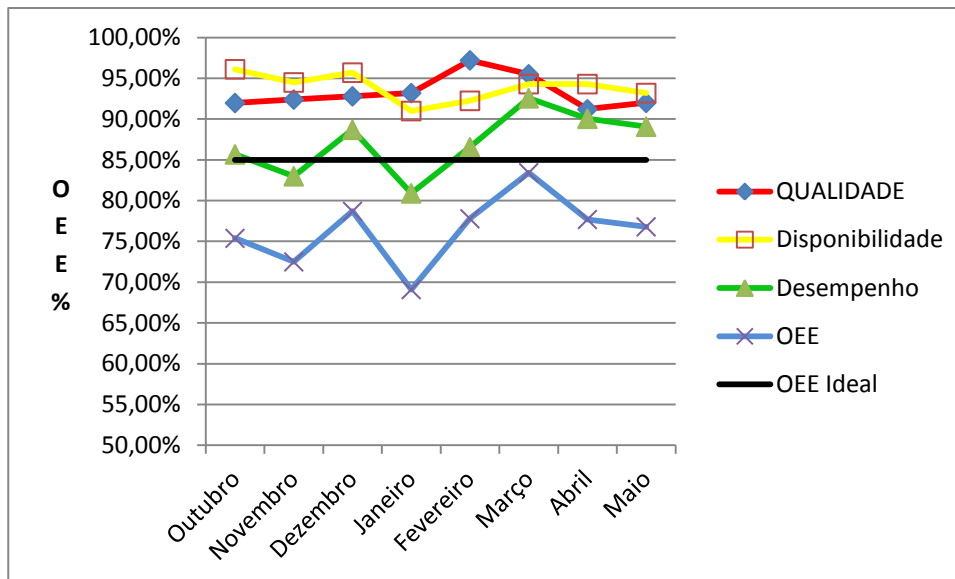


Gráfico 9-OEE

No gráfico 9 estão representados todos os índices que afetam o OEE, de modo a ser possível verificar qual o índice que mais afetou o OEE. É possível verificar que é o desempenho o índice que mais influencia o OEE. Qualidade e disponibilidade apresentaram comportamentos relativamente estáveis, sendo que o OEE apresenta uma tendência muito similar à tendência registrada no desempenho.

A finalidade do OEE é identificar e quantificar o impacto dos desperdícios associados aos equipamentos no desempenho.

4.5.5 Identificação de desperdícios

Sempre que surge um impedimento no processo produtivo, cabe ao chefe de linha identifica-lo e registá-lo no sistema de informação, presente em todas as linhas. A métrica OEE visa quantificar o impacto dos desperdícios no desempenho global, neste caso, da linha *lead-free*.

Os impedimentos ao processo produtivo identificados são os seguintes:

- Mudança de ferramenta
- Avarias de equipamentos
- Falta de materiais (externo)
- Alterações ao plano

- Falta de materiais entre secções
- Transportes internos

Dos impedimentos que podem ser assinalados, os desperdícios causados por: Mudança de ferramenta; Avarias de Equipamentos; e Transportes Internos, são os alvos de melhoria da metodologia TPM. Transportes Internos são problemas com origem nas correias de transporte da linha de produção, inferior e superior, e anomalias no transporte das paletes pelos elevadores. Estes afetam a velocidade com que as paletes se movimentam na linha de produção, e influenciam o desempenho da linha, pois diminuem a velocidade nominal da linha.

Falta de materiais externos, alterações ao plano e falta de material entre secções são desperdícios não associados a equipamentos, mas influenciam negativamente o índice de desempenho, uma vez que impossibilitam a produção das quantidades planeadas.

No gráfico 10 apresenta-se a evolução do impacto dos desperdícios, para o período de Outubro a Maio.

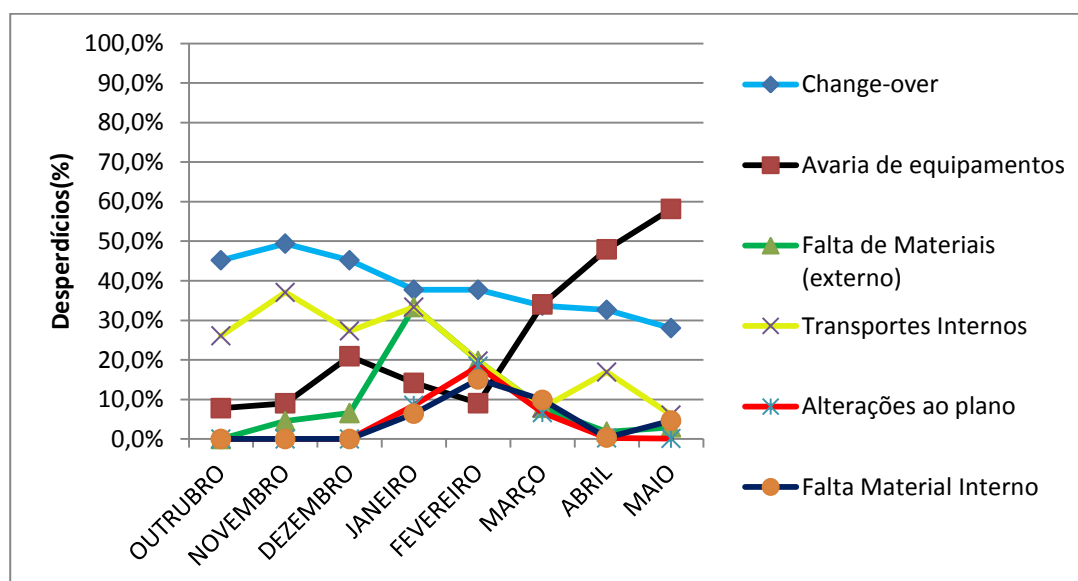


Gráfico 10-Evolução dos desperdícios do OEE

Como é possível verificar no gráfico 10, os desperdícios identificados aquando do cálculo do OEE, em geral, não se registaram melhorias significativas. De realçar que a mudança de ferramenta e os transportes internos foram os desperdícios que registaram uma tendência de melhoria, ainda que este último tenha registado um

comportamento inconstante. As avarias de equipamentos, mesmo depois da deslocalização do centro de manutenção, registaram um agravamento.

A mudança de ferramenta é realizada em três passos:

- Introdução de paletes de cerâmica na linha de transporte
- Alteração dos perfis de temperatura da máquina de solda
- Alteração da base do *clinch*

De acordo com o gráfico 10 é possível verificar que, no conjunto dos desperdícios, o impacto da mudança de ferramentas tem vindo a diminuir. O gráfico 11 mostra a evolução do tempo médio gasto no processo de mudança de ferramenta.

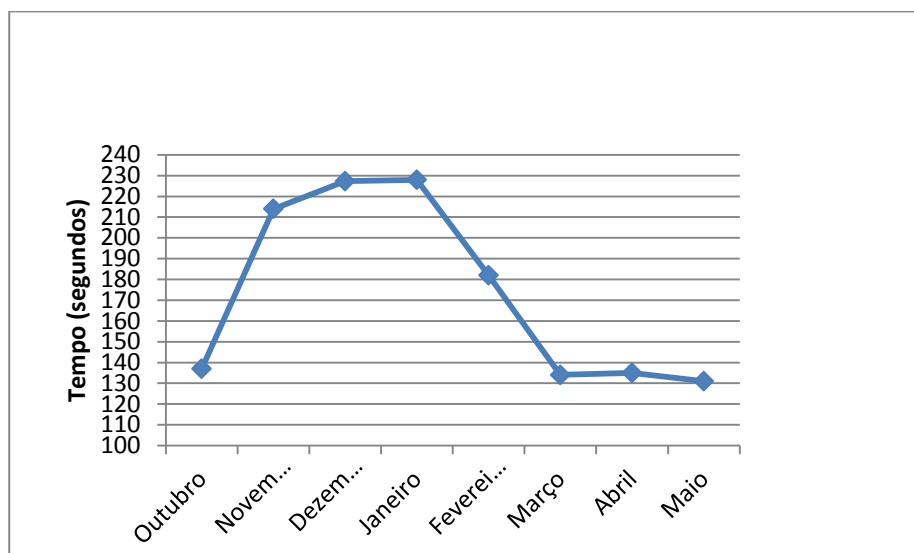


Gráfico 11-Tempo médio de Mudança de ferramenta

O gráfico 11 revela que nos meses de Outubro a Janeiro o tempo gasto no processo de mudança de ferramenta foi progressivamente maior, sendo que entre Outubro e Novembro se verificou um aumento brusco no consumo de tempo. A partir de Janeiro verificou-se uma melhoria acentuada no tempo gasto no processo de mudança de ferramenta. No entanto, não é possível afirmar que foi alcançada uma melhoria neste processo, devido à instabilidade que os dados revelam.

Relativamente aos desperdícios causados por avarias de equipamentos da secção de Montagem de Elementos, a tabela abaixo discrimina o impacto das avarias de cada equipamento no desperdício Avaria de Equipamentos, e inclui os desperdícios provocados por anomalias na linha de produção. Os dados na tabela 19 são

apresentados em segundos. As percentagens representam o peso de cada avaria no desperdício Avaria de Equipamentos. O gráfico 12 apresenta a evolução do tempo médio registado nas avarias dos diferentes equipamentos.

A coluna “Outros” representa as avarias menos frequentes, causadas por falha na rede, problemas com os dispositivos *poka-yoka*, mecanismo de *sub-assembly* e aparafusadora. Individualmente, os desperdícios causados por estes equipamentos são pouco significativos.

	Avarias de Equipamentos			
	Máquina de solda	<i>Clinch</i>	Linha de transporte	Outros
Outubro	4161	141	3656	359
Desperdício	10,05%	0,34%	8,83%	0,87%
Novembro	3816	672	1145	239
Desperdício	64,99%	11,44%	19,50%	4,07%
Dezembro	3736	789	193	968
Desperdício	65,71%	13,88%	3,39%	17,02%
Janeiro	10053	272	871	119
Desperdício	88,85%	2,40%	7,70%	1,05%
Fevereiro	2433	2269	1230	1553
Desperdício	32,51%	30,31%	16,43%	20,75%
Março	4545	717	11988	3903
Desperdício	21,49%	3,39%	56,67%	18,45%
Abril	26092	1855	715	115
Desperdício	90,67%	6,45%	2,48%	0,40%
Maio	34628	478	1702	2331
Desperdício	88,47%	1,22%	4,35%	5,96%

Tabela 19-Tempo absoluto de avaria de equipamentos

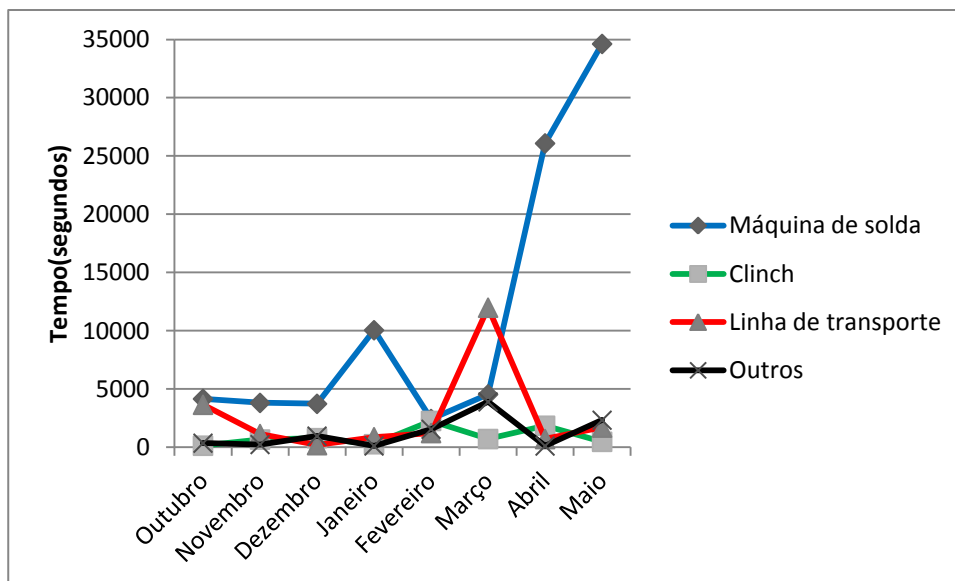


Gráfico 12-Tempo de avarias de equipamentos

Como se pode verificar pelo gráfico 12, a máquina de solda é o equipamento que contribui mais para o impacto dos desperdícios causados por avarias de equipamentos, e com agravamento preocupante nos meses de Abril e Maio. Não obstante de nos meses de Fevereiro e Março ter apresentado menor registo de avarias, essa melhoria não foi possível de ser sustentada nos meses seguintes. As causas, registadas, de avaria da máquina de solda são a danificação dos *fingers*, pequenas peças metálicas de transporte das paletes de cerâmica, nas correias de transporte.

A linha de transporte, no período de Outubro a Maio, sofreu melhorias no tempo gasto com avarias, surgindo apenas uma situação de maior desperdício no mês de Março, mas que foi imediatamente recuperada nos meses seguintes. As avarias da linha de transporte são causadas por correias que sofrem desgaste durante o processo de transporte das paletes durante o processo que acaba por se deteriorar e, assim, interromper o processo produtivo. A solução de ação corretiva passa pela substituição da correia de transporte, com completa interrupção do processo produtivo.

No entanto, as razões dos desperdícios podem ser pouco claras. Por exemplo, o desperdício Falta de Material Interno pode ser causado por lacunas de planeamento de produção, pode ser causado com problemas logísticos entre as secções ou pode mesmo ser originário de uma avaria de um equipamento na secção anterior.

5. Organização e melhoria do desempenho do CAP

O CAP está projetado para ser um centro de operações da função manutenção, para assistência às áreas de Montagem de Elementos e Montagem Final, localizado no *gemba*. O objetivo da criação deste centro consiste em minimizar os desperdícios causados pelos movimentos excessivos dos técnicos de manutenção e os equipamentos, de forma a prestar assistências mais rápidas. A função do CAP é prestar a primeira assistência a avarias elétricas ou mecânicas.

A decisão de se estabelecer um CAP no *gemba* teve origem na necessidade de aproximar a função Manutenção da função Produção, no âmbito da metodologia TPM, passando as duas funções a estarem intrínseca e fisicamente ligadas. Paralelamente, a decisão da Delphi Automotive Systems em criar a sua própria secção de testes originou a necessidade de um espaço físico para alocar um novo departamento, e impulsionou a deslocação da Manutenção para a Produção.

Uma vez a manutenção situada no *gemba*, está criada uma estrutura com a possibilidade de integrar novas ações de manutenção conjuntamente com as responsabilidades da Produção.

A aproximação física destes dois departamentos permite focalizar esforços conjuntos para a melhoria do desempenho da Delphi e da assistência a avarias. Para isso, foram realizadas instruções de manutenção autónoma, com o auxílio da manutenção, para que os operadores desenvolvam atividades de preservação dos seus equipamentos, assistidos pelos técnicos de manutenção. A escolha dos equipamentos foi realizada a partir de análises FMEA de processos, que evidenciam intermitências no funcionamento mecânico dos equipamentos.

5.1 Organização do centro de manutenção

O CAP está localizado numa zona do *gemba* que anteriormente estava desocupada (figura 11). Ou seja, não foi necessário a construção de raiz de uma estrutura para albergar os técnicos de manutenção e todos os seus equipamentos, decidindo-se

aproveitar a existência de uma área desocupada para aí se situar o CAP. Os equipamentos e estruturas necessárias já existiam anteriormente, no departamento de Manutenção. Portanto, o único esforço exigido foi a deslocalização de mesas e bancadas. Os armários são destinados a albergar documentação técnica e todos os materiais e peças de substituição de utilização mais recorrente. No entanto, os armários tiveram que ser criados de raiz, pois é política da empresa que todos os materiais existentes no *gemba* tenham propriedades anti-estáticas, de forma a não danificar os produtos através de descargas electrostáticas.

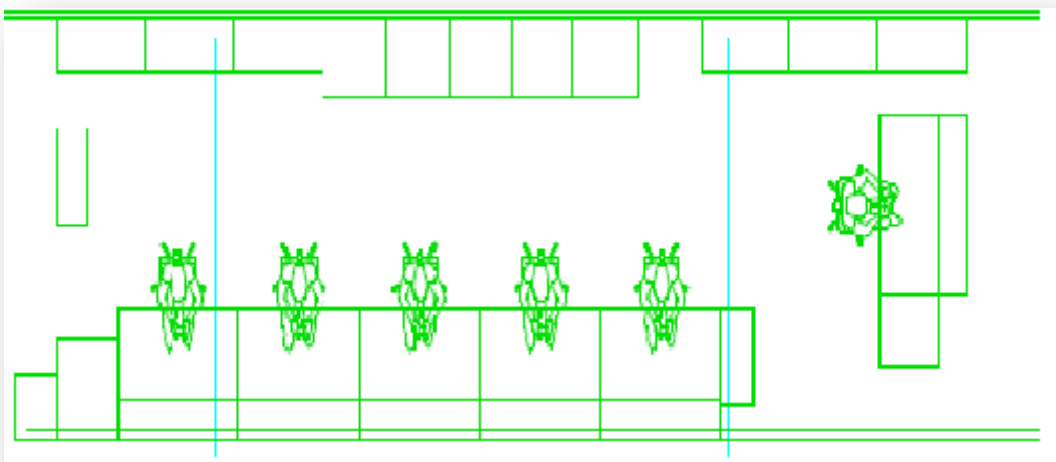


Figura 11- Centro de Apoio à Produção

O CAP foi concebido no formato de uma pequena oficina, como é possível verificar na figura 11, de forma a prestar o primeiro auxílio em caso de avarias. Neste espaço estão alocados somente os materiais mais usualmente utilizados em tarefas de manutenção e de pequeno tamanho. Assume também a finalidade de estrutura de suporte às restantes atividade de manutenção. O CAP está também equipado com equipamentos de diagnóstico e reparação: osciloscópio, fontes de alimentação, ferros de solda e voltímetros (figura 12).



Figura 12- Mesa de trabalho e armário de peças

Por questões de espaço, peças de substituição de maior tamanho e equipamentos de manutenção estão alocados num armazém próprio (figura 13).

Na configuração final, o CAP dispõe de cinco mesas de trabalho e seis armários. Os armários são destinados para guardar:

- Peças para manutenção de impressoras e *scanners*;
- Peças para os sistemas de antenas;
- Agulhas para os ICT;
- Fontes de iluminação;
- Peças para os equipamentos de teste objetivo e subjetivo;
- Cabos;
- Peças mecânicas;
- Sensores.

Nos armários também estão guardados, e à disposição dos técnicos de manutenção, documentação técnica para a realização das tarefas de manutenção.



Figura 13- Armazém de peças

No entanto, qualquer atividade que exija a produção de partículas é realizada na zona da serralharia. Esta decisão tem a ver com a necessidade de manter a área de trabalho o mais limpa possível. Portanto, as atividades realizadas no CAP têm a assistência dos espaços da serralharia, para trabalhos que originem sujidade, e de um armazém dedicado à alocação de peças de substituição de maior tamanho e equipamentos da manutenção.

O CAP é composto por 5 técnicos, dois dos quais são responsáveis pela manutenção das impressoras de todo o setor produtivo e pela alocação dos equipamentos. Os restantes respondem às necessidades de intervenção nos equipamentos.

5.2 FMEA

A análise FMEA é uma ferramenta importante, pois permite definir estratégias de melhoria e determinar os seus efeitos, como forma de minimizar as consequências dos potenciais modos de falha.

Os equipamentos alvo de análise FMEA, pertencentes ao fluxo produtivo dos produtos produzidos na linha *lead free*, foram o *Clinch* e o mecanismo de *sub-assembly*. A escolha destes equipamentos depende-se do facto de os modos de falha identificados relacionarem-se com situações anómalas de funcionamento, com origem em deficiências mecânicas, e para as quais o recurso a Manutenção Autónoma é considerado como proposta de melhoria baseada em recursos e *know-how* existente.

As análises FMEA realizadas ao *clinch* e ao dispositivo de *sub-assembly*, a par com elementos da manutenção, ressaltam a necessidade de os equipamentos funcionarem nas melhores condições. Durante a identificação dos modos de falha do dispositivo de *sub-assembly* foi possível determinar as intermitências do processo, provocadas pelo não funcionamento dos equipamentos nas melhores condições, como possíveis causas dos modos de falha.

5.2.1 FMEA do mecanismo de *sub-assembly*

A análise FMEA realizada ao mecanismo de *sub-assembly* (tabela 20) permitiu identificar modos de falhas causados por intermitências mecânicas no funcionamento do mecanismo.

Nos casos descritos, o mecanismo apresentava fragilidades no funcionamento mecânico das partes, que impediam que a operação fosse realizada corretamente, permitindo que no produto existissem componentes incorretamente inseridos, pois existia uma lacuna entre o dissipador e a placa de circuitos impressos. Outra causa potencial identificada é a incorreta colocação da placa de circuitos impressos no mecanismo, provocado pelo desgaste dos componentes do mecanismo.

Para estes casos, uma das soluções avançadas foi o reforço das ações de manutenção, que passariam a ser executadas pelos operadores, com maior frequência. O recurso à manutenção permite que as condições do mecanismo sejam sempre monitorizadas, de modo a ser utilizado no melhor estado de funcionamento, evitando a ocorrência de intermitências mecânicas do processo.

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS												
Description _____			Process Responsibility _____									
Vehicle Audi _____			Key Date _____									
Core Team _____												
Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito	S E V	Causa Potencial	O C C	Controlo dos Processos Prevenção (P) Deteção (D)	D E T	R P N	Recommend ed Action (s) Prevention (P) Detection (D)	NewSEV	NewOCC	NewDET	NewRPN
Mecanismo de fecho fora das especificações	Curto-circuito no equipamento	6	Função intermitente permite a existência de uma lacuna no posicionamento de blindagem	4	D: Inspeção Visual, Teste objetivo, Teste subjetivo	6	144	Implementação de guias para eliminar a lacuna Manutenção Autónoma	6	1	6	36
Função Intermitente	Componentes danificados	6	Mecanismo pode danificar componentes devido ao correto	7	D: Teste objetivo, teste subjetivo	6	252	Criação de guias para permitir o Manutenção autónoma	6	1	6	36

Tabela 20-FMEA do mecanismo de sub-assembly

De acordo com os dados da tabela 20, o índice de ocorrência sofreu melhorias - diminui de 4 (1 falha em 10000 itens) para 1- que corresponde à eliminação da falha, uma vez que se passou a monitorizar as condições de operabilidade do mecanismo com mais frequência. Outra solução avançada foi a implementação de guias que impossibilitou a incorreta colocação dos produtos no dispositivo. Por outro lado, o reforço das ações de manutenção autónoma refletiu-se, principalmente, na melhoria da qualidade do processo.

5.2.2 FMEA do clinch

O *clinch* é um equipamento presente em todas as linhas de montagem está localizado antes da máquina de soldadura. A sua função é fixar os componentes à placa de PCB, através de um processo de rebite, com recurso a pegas metálicas. O correto funcionamento deste equipamento é vital, não só do ponto de vista da qualidade, mas caso o processo de *clinch* (rebite) não seja efetuado de forma correta, durante o processo de soldadura, em que os componentes são sujeitos a ondas de solda, os

componentes podem soltar-se e cair na máquina de solda. Esta situação não é só gravosa do ponto de vista da qualidade do produto, como também pode danificar a máquina de solda.

O modo de funcionamento do *clinch* é baseado num sistema de pegas metálicas que fixam os componentes à placa de PCB. O *clinch* é um dos equipamentos que exige alteração de ferramentas na altura da mudança de ferramenta. Por isso, é importante que, sempre que se inicie a produção de um novo produto, o *clinch* esteja a operar nas melhores condições, não sujeitando os produtos a problemas de qualidade provocados por intermitências ou fragilidades no processo mecânico.

A tabela 21 apresenta a análise FMEA desenvolvida para o equipamento *clinch*.

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS													
Description _____						Process Responsibility _____							
Vehicle Audi _____						Key Date _____							
Core Team _____													
Process Function / Requirements	Potencial Modo de Falha	Efeito Potencial	SEV	Causa Potencial	OCC	Controlo dos Processos Prevenção (P) Detecção (D)	DET	RPN	Ações recomendadas	NewSEV	NewOCC	NewDET	NewRPN
Operação Clinch	Processo de Clinch defeituoso	Modulo Inoperável	6	Processo de clinch não executado	5	D: Inspeção Visual, Teste Objetivo, Teste subjetivo	5	150	Manutenção Autónoma	6	2	5	60
	Processo de clinch impossível de ocorrer	Função Intermitente ou Falha	6	Defeito na Palette não permite proceso de Clinch	10	D: Visual inspection	8	480	P: Change Palette layout Autonomous Maintenance Work Instructions	6	2	8	96

Tabela 21-Fmea do clinch

Uma vez identificado que o processo defeituoso era provocado pela acumulação de partículas e desgaste das peças por uso contínuo, foi sugerido o desenvolvimento de ações de manutenção autónoma, não só atividades de limpeza mas também verificação das condições das peças e lubrificação, a serem realizadas antes de cada mudança de ferramenta, para que quando a base do *clinch* entrar em funcionamento

estejam asseguradas a condições apropriadas para o seu correto funcionamento e que o equipamento se apresente completamente livre de sujidades.

5.3 Manutenção autónoma

Como foi revelado aquando da elaboração da análise FMEA, o *clinch* e o mecanismo de *sub-assembly* foram dois equipamentos que demonstraram algumas fragilidades mecânicas no seu modo de funcionamento, que causavam problemas de qualidade. Durante a elaboração de soluções para os problemas identificados, apresentou-se o como proposta de melhoria o recurso à manutenção autónoma.

Este recurso à manutenção autónoma surge no seguimento da metodologia TPM, já implementada na Delphi, noutra secção. Na secção de Montagem de Elementos as instruções de manutenção existentes referem apenas instruções de limpeza e são realizadas numa base semanal ou na eventualidade de alguma interrupção do processo produtivo, como filosofia de *housekeeping* praticada.

Como forma de melhorar a eficiência dos equipamentos, os operadores devem participar mais ativamente na preservação das condições dos equipamentos, através da manutenção autónoma. Assim, é possível intensificar as relações entre Manutenção e Produção, iniciada com a criação do Centro de Apoio à Manutenção e aproximando, fisicamente, as duas funções. Por outro lado, a capacitação dos operadores com técnicas e conhecimentos de manutenção permite retirar carga de trabalho à função manutenção, permitindo que esta foque esforços acrescidos no desenvolvimento de novas estratégias de manutenção.

Os dois equipamentos - *clinch* e mecanismo de *sub-assembly* - são insubstituíveis e de elevada utilização. Por isso é importante monitorizar as respetivas condições de deterioração, para que, sempre que necessário a sua utilização, estes estejam nas melhores condições.

As atividades de manutenção realizadas pelos operadores são baseadas nas atividades de limpeza e verificação das condições do equipamento que eram antes realizadas pela função Manutenção, na serralharia. Deste modo, foi possível reduzir carga de

trabalho da Manutenção, ficando os técnicos de manutenção apenas encarregues da realização de verificações dos equipamentos que necessitem do recurso a ferramentas e instrumentos que não se encontram alocados no CAP, como é o caso da verificação das condições dos sensores do mecanismo de *sub-assembly*, para o qual é necessário o recurso a *software* por forma a verificar as condições de sensores.

Por outro lado, a transferência da carga de trabalho da Manutenção para a Produção permite aumentar a periodicidade das ações de manutenção. Anteriormente, tanto o mecanismo de *sub-assembly* como as bases do *clinch* eram inspecionados e sujeitos a reparações (se necessário) numa base mensal. As ações de limpeza aconteciam semanalmente. Com a introdução das instruções de manutenção autónoma, as ações de manutenção passaram a ser mais constantes.

O *clinch* passou a ser limpo, lubrificado e inspecionado antes de cada mudança de ferramenta, de forma a se apresentar sempre nas condições ideais de funcionamento aquando do início do processo produtivo. O mecanismo de *sub-assembly*, seguindo as instruções de manutenção autónoma, antes do final de cada turno, o dispositivo é sujeito a limpeza, é realizada uma verificação das condições das peças e dos parafusos- se apresentam desgaste ou necessitam de reajustes-, inspeção dos sistemas de rotação, de tubos de ar e acessórios pneumáticos e, se necessário, realização de lubrificação das peças do dispositivo.

A duração das atividades de manutenção autónoma é de 15 minutos; sempre que se verifica uma paragem no processo produtivo também se exige que seja realizada manutenção autónoma. Nas condições anteriores, era necessário realizar um planeamento de manutenção, com a Produção, de forma a estimar um período passível para se realizarem as tarefas de manutenção. Assim, apesar do planeamento entre Manutenção e Produção ser necessário, deste modo torna-se mais simplificado, pois as responsabilidades da função Manutenção são menores, realizando intervenções apenas na verificação das condições dos sensores e, se necessário, na correção de anomalias detetadas e registadas pelos operadores.

De forma a potenciar o envolvimento dos operadores, a par das instruções de manutenção autónoma (anexo II e III), aos operadores é também facultada uma folha

de registo de anomalias (anexo IV). Os operadores são os melhores conhecedores dos equipamentos e facilmente detetam anomalias no processo. Essas anomalias detetadas devem ser imediatamente registadas e descritas. Assim, a função manutenção tem a possibilidade realizar ações de melhoria ou correção baseadas na análise dos registos efetuados pelos operadores.

5.4 *DashBoard* de Melhoria Contínua

Como forma de informar todos os operadores da evolução do desempenho global e das melhorias desenvolvidas no *Gemba* foi elaborado um *dashboard* para essa mesma finalidade. Por forma a introduzir o sentimento de responsabilidade pelo sucesso da organização aos operadores, é estratégia da Delphi disponibilizar no *gemba* os dados relativos ao desempenho mensal das diferentes métricas de avaliação.

Abaixo é apresentado (figura 14) um exemplo de um *dashboard* elaborado, para o mês de Maio.

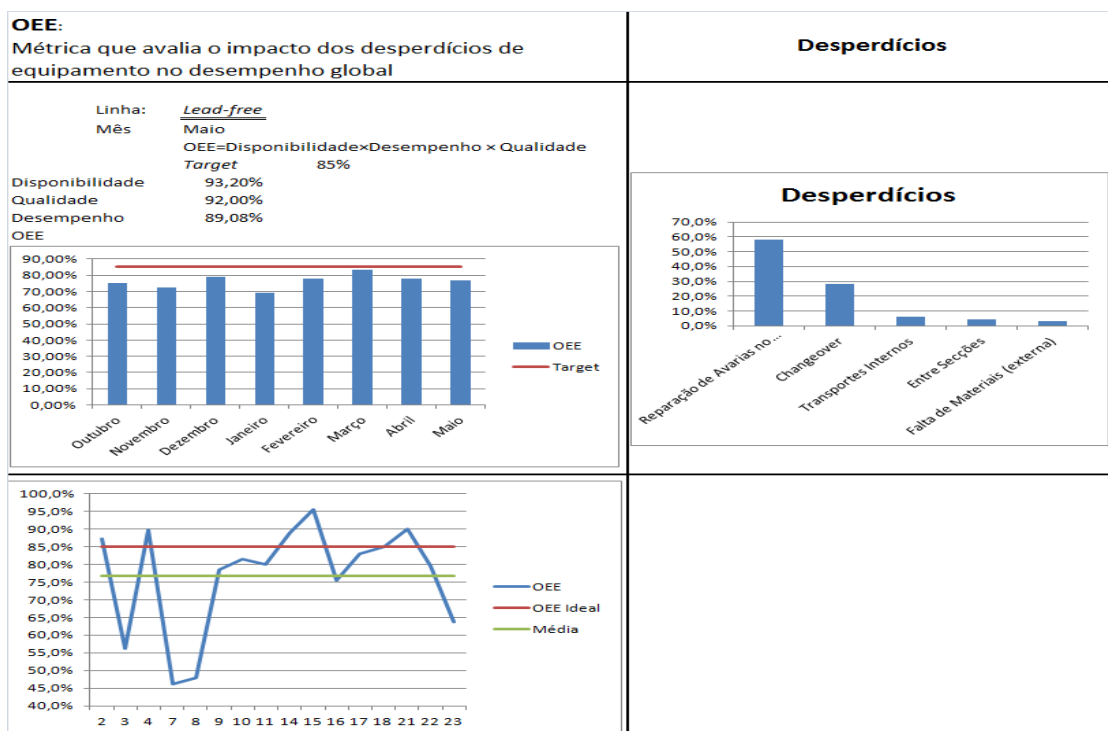


Figura 14- *DashBoard* de melhoria contínua

O *dashboard* elaborado apresenta a expressão do OEE, assim como os principais causas de desperdícios que afetaram o desempenho global da linha lead-free.

Os índices constituintes do OEE mensais- Desempenho, Qualidade e Disponibilidade- são igualmente assinalados, assim como o objetivo a atingir para o OEE. Os dados apresentados no *dashboard* apresentam a evolução diária do OEE, comparando com o valor de 85%.

O impacto dos desperdícios é, naturalmente, assinalado no *dashboard*, sendo a avaliação do impacto destes desperdícios realizada numa base mensal.

A análise do OEE é feita de duas formas:

- 1) Análise comparativa com os meses anteriores, de forma a demonstrar mais claramente a evolução do desempenho;
- 2) Análise diária do mês em questão, de forma a evidenciar o desempenho durante o mês.

O *dashboard* permite que todos os elementos da *Delphi* tenham conhecimento do desempenho global e dos desperdícios que mais afetaram negativamente o desempenho.

6. Conclusão

O trabalho realizado na Delphi focou-se na organização e melhoria do desempenho do centro de manutenção de apoio às linhas de montagem de autorrádios, a partir do momento em que o centro de apoio às atividades de manutenção (CAP) entrou em funcionamento, com o objetivo de analisar quais as melhorias alcançadas, através da introdução da métrica de avaliação de desempenho global OEE e da análise das métricas de manutenção MTTR, MTBF e Disponibilidade.

O objeto de análise, na secção Montagem de Elementos, foi o fluxo produtivo da família de produtos Audi e Gen III Mid Hd, composto pela linha de produção *lead-free*, equipamentos de teste ICT e o processo final de *sub-assembly*. A escolha dos equipamentos deste fluxo produtivo deveu-se ao facto de os produtos aqui produzidos terem requisitos de elevada qualidade.

Nesta sequência, foi efetuada a recolha de dados para a determinação dos índices Desempenho, Disponibilidade e Qualidade, e posterior identificação dos desperdícios alvo de melhoria segundo a metodologia TPM. Uma vez determinados todos os índices constituintes da métrica OEE, foi possível calcular o valor de OEE.

Os valores de comparação dos índices de Disponibilidade (90%), Desempenho (95%) e Qualidade (99%), assim como o próprio valor de OEE, convergem com os apresentados na literatura por Nakajima (1988). Ahuja & Khamba (2008) afirmam que uma organização de classe mundial deve apresentar valores de OEE iguais ou superiores a 85%.

Os desperdícios identificados que mais afetam negativamente o desempenho da linha de montagem *lead-free* são a mudança de ferramenta, avarias de equipamentos e transportes internos. Desde a implementação do CAP, o tempo gasto com mudanças de ferramentas registou grandes oscilações. Numa primeira fase, de Outubro a Janeiro, houve um acréscimo acentuado do tempo gasto, ao qual se seguiu um período de recuperação. Devido às variações no tempo de mudança de ferramenta registado não é possível afirmar que se obteve uma melhoria relativamente a este desperdício. Já as avarias de equipamentos tiveram comportamento negativo, registando-se,

consecutivamente, aumentos do impacto deste desperdício no conjunto geral dos desperdícios. A máquina de solda foi o equipamento que mais contribuiu para os registos negativos de desperdícios provocados por avarias de equipamentos.

Uma vez determinados os valores de OEE desde a implementação do centro de apoio, analisou-se a influência do centro junto da linha de montagem *lead-free* e nos ICTs. Para tal, foram calculadas as métricas de fiabilidade MTTR, MTBF e Disponibilidade, assim como a redução de desperdícios de movimentos resultantes da deslocação da manutenção para o *gemba*. Os dados recolhidos não evidenciam apenas oscilações, não sendo possível afirmar que a criação do CAP se traduziu em melhoria nos tempos de resposta a avarias, nem nos tempos de reparação. Isto deve-se, principalmente, a um sistema de alerta de avaria confuso, em que os reparadores muitas vezes efetuam reparações mas não dão o alerta de que esteja a decorrer uma intervenção, acabando por impossibilitar qualquer tipo de análise neste tipo de variável. Por outro lado, no caso dos ICTs, as avarias dos equipamentos são muitas vezes eletrónicas. No entanto, é da responsabilidade do CAP efetuar a primeira assistência e diagnosticar o problema. Nos casos das avarias eletrónicas, é necessário requisitar o auxílio do departamento de testes. Neste período, o tempo de reação ou o tempo de reparação sofrem uma deturpação, uma vez que é necessário a requisição de assistência especializada. Esse tempo é contabilizado nas métricas do CAP.

Por outro lado, a aproximação dos dois departamentos, manutenção e produção, não surtiu efeito no desenvolvimento de estratégias para que as reparações aos equipamentos fossem mais rápidas, nem estratégias que evitassem a ocorrência de avarias, como se verifica na métrica MTBF.

Através duma análise FMEA foi possível verificar que os equipamentos *clinch* e dispositivo de *sub-assembly* apresentavam fragilidades no funcionamento mecânico, sendo esta uma situação passível de causar problemas de qualidade. Para isso, foram criadas instruções de manutenção autónoma, de forma a intensificar a verificação e melhoria do desempenho destes dois equipamentos.

SUGESTÕES DE MELHORIA

No decorrer deste projeto, ficaram patentes as fragilidades do sistema de gestão da manutenção, que permite que haja intervenção no equipamento sem que o início da atividade seja devidamente assinalado. Este acontecimento pode não ser relevante do ponto de vista da correção da avaria, mas é importante para o tratamento de dados, uma vez que dificulta a recolha de dados para a determinação de melhorias. Neste caso, só é possível concluir que a métrica MTTR não sofreu qualquer melhoria, mesmo estando o centro de manutenção localizado no *gemba*, e sendo o propósito deste tornar as intervenções mais rápidas.

Para evitar a ocorrência da situação anteriormente referida, que impossibilita a evidenciar possíveis melhorias alcançadas, é necessário a elaboração de um sistema (Ex: sonoro, luminoso) que impele o responsável de manutenção a registar o início da intervenção antes de executar a reparação do equipamento.

No que concerne aos ICT, estes apresentam maioritariamente avarias eletrónicas, às quais os técnicos do CAP não têm capacidades de resposta. Neste aspeto, seria mais vantajoso para a manutenção deixar a responsabilidade de manutenção dos ICT para o departamento de testes, e só intervindo caso a avaria fosse elétrica ou mecânica, invertendo as responsabilidades atuais.

Na linha *lead-free* é a máquina de solda que apresenta maior número de avarias. Os principais motivos são as correias de transporte e os *nozzles*. Neste caso, seria vantajoso o desenvolvimento de ações de manutenção preventiva e de manutenção autónoma na máquina de solda, com enfoque na limpeza e inspeção dos *nozzles*, assim como a verificação das condições das correias de transporte.

Bibliografia

- Ahuja, I., & Khamba, J. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 709-756.
- Bevilacqua, M., & Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering and System Safety*, 71-83.
- Bhuiyan, N., & Baghel, A. (2005). An overview of continuous improvement: from the past to the present. *Management Decision*, 761-771.
- Chan, F., Lau, H., Ip, R., Chan, H., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: a case study. *International Journal of Production Economics*, 71-94.
- Chrysler LLC, Ford Motor Company and General Motors Corporation. (2008). *Potencial Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Reference Manual Fourth Edition*.
- Cua, K. O., McKone, K. E., & Schroeder, R. G. (26 de 01 de 2001). Relationship between implementation of TQM, JIT and TPM and manufacturing performance. *Journal of Operations Management*, pp. 675-694.
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen- A Commonsense, Low-cost approach to management*. McGraw-Hill.
- Kmenta, S., & Ishii, K. (2000). Scenario-based FMEA: A life cycle cost perspective. *2000 ASME Design Engineering Technical Conferences*. Baltimore, Maryland: ASME.
- McKone, K. E., Schroeder, R. G., & Cua, k. O. (1999). Total Productive Maintenance- a contextual view. *Journal of Operations Management*, 123-144.
- Nadarajah, E., Sambasivan, M., & Yahya, S. (2005). Autonomous Maintenance- An effective Shop-floor tool to improve productivity. *Journal of Technology Management and Entrepreneurship*.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM- Total Productive Maintenance*. Cambridge : Productivity Press, Inc.
- Oliveira, U. R., & Rocha, H. M. (2008). Empowerment como estratégia competitiva em Manufatura e Serviços: Percepção dos Colaboradores. *Revista Produção*.
- Paliska, G., Pavletic, D., & Sokovic, M. (2007). Quality tools – systematic use in process industry. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 79-82.
- Park, K., & Han, S. (2001). TPM- Impact on competitiveness and a Framework for successful implementation. *Human Factors and Ergonomic in Manufacturing*, 321-338.
- Prickett, P. (1999). An integrated approach to autonomous maintenance. *Integrated Manufacturing*, 233-242.
- Scyoc, K. V. (2008). Process safety improvement—Quality and target zero. *Journal of hazardous materials*, 42-48.
- Senders, J. W. (2004). FMEA and RCA: the mantras of modern risk management. *Quality and Safety in Health Care*, 248-249.

Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics*, 237-244.

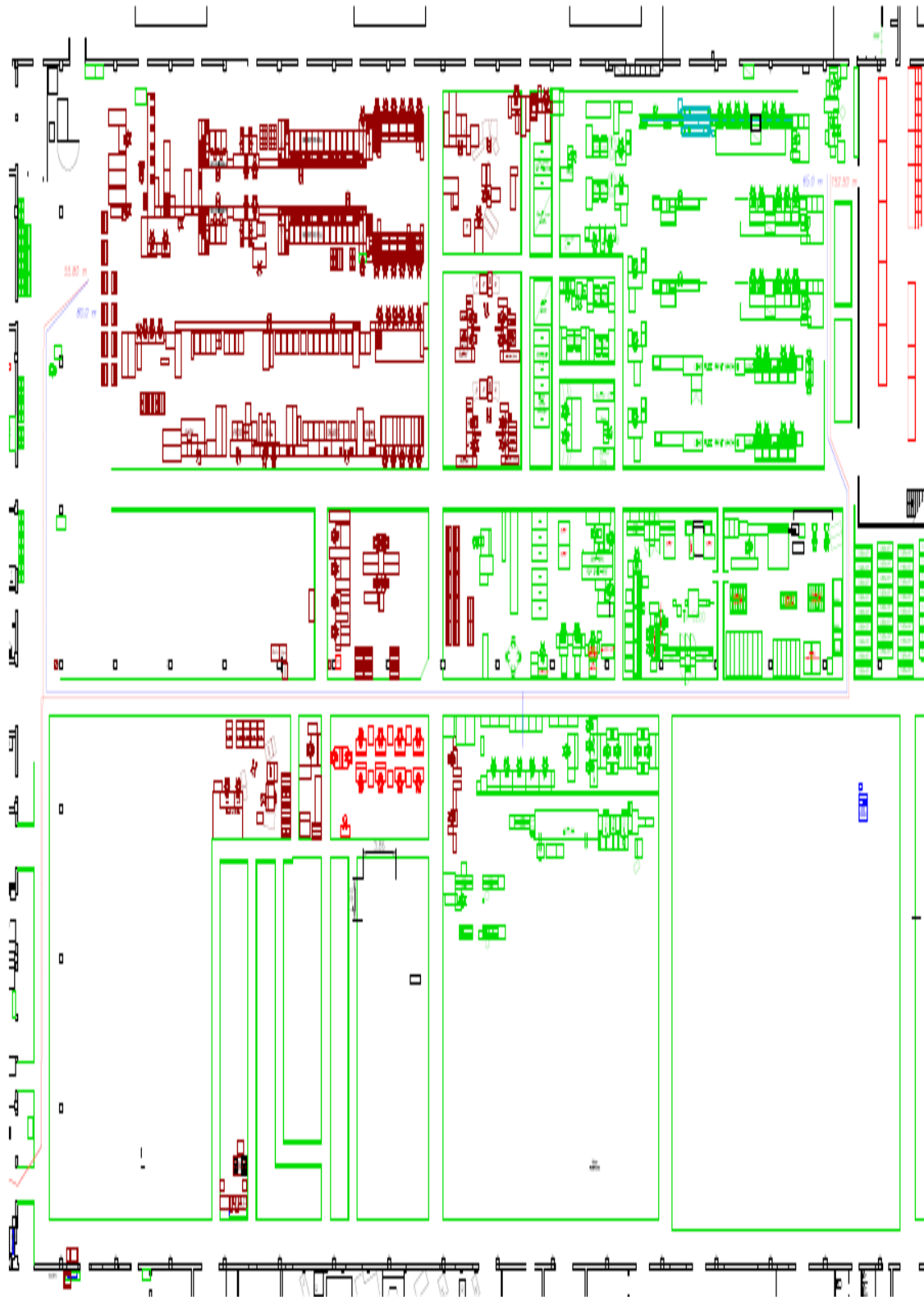
Teeravaraprug, J., Kitiwanwong, K., & SaeTong, N. (2001). Relationship model and supporting activities of JIT, TQM and TPM. *Songklanakarin journal of science and technology*, 101-106.

NP EN 13306:2007- Terminologia da Manutenção

Anexos

Anexo I





Caminhos percorridos pelos técnicos de manutenção



Anexo II

Instrução de Trabalho de manutenção autónoma para as bases do clinch

DESCRIÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA

DURAÇÃO - 15 min	1		2	
Bases do Clinch				
1- Transportar as bases para a serralharia	1			
2- Verificar se os calcanhares estão a funcionar corretamente	2			
3- Verificar peças de guiamento	3			
4- Verificar se há peças soltas ou com necessidade de reajuste	3		4	
5- Verificar se etiqueta se está ilegível ou se apresenta erros e/ou omissões				
6- Verificar condições das molas	4			
7- Verificar se existem peças com desgates, soltas ou danificadas				
8- Limpar a base				
9- Realizar lubrificações. Garantir que lubrificante não entra em contacto com as peças do aparelho				

Anexo III

Instrução de Trabalho de manutenção autónoma para o mecanismo de sub-assembly

DESCRIÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA

Duração 15 min

Limpar caixas de lotes incompletos + caixas material para análise

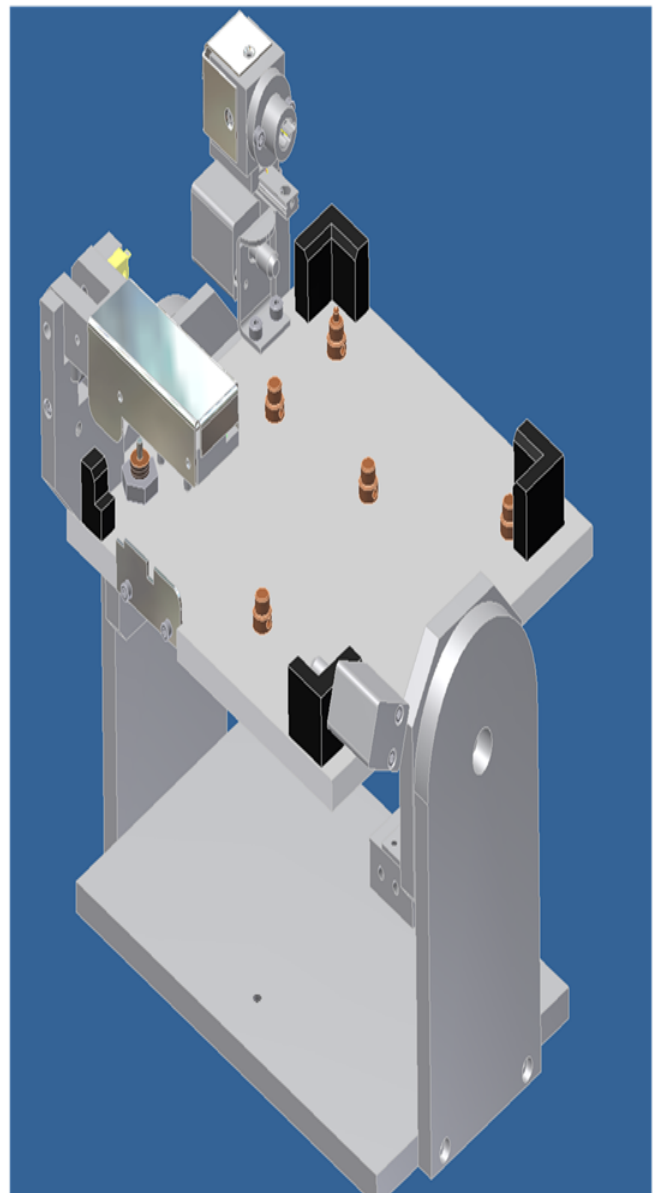
Limpar as caixas das placas para a linha

POSTO

Limpa o pó à prateleiras e superfície de trabalho Aspira a parte da frente e parte de trás

Dispositivo

- 1- Verificar se referência está legível e não apresenta erros e/ou omissões. Retirar todas as referências que não pertençam ao dispositivo ou que suscitem dúvida
- 2- Limpar dispositivo
- 3- Verificar se o dispositivo apresenta peças com desgaste, partes danificadas, peças soltas e aparafusos desapertados
- 4- Verificar sistemas que permitem rotação e encravamento, cabos elétricos, tubos de ar e acessórios pneumáticos
- 5- Realizar lubrificação das peças, se necessário; verificar se resíduos do lubrificante não entram em contacto com o produto



Anexo IV

Folha de Registo de anomalias

Manutenção Autónoma	
Anómalia Detetada	
Equipamento: _	Data _/_/_
Operador: _	
Descrição da Anomalia	