



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Mário André Oliveira Faria

Controlo de qualidade e inspeção visual por  
imagem: definição de uma aplicação para  
registo de alterações e avaliação de  
desempenho





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Mário André Oliveira Faria

Controlo de qualidade e inspeção visual por  
imagem: definição de uma aplicação para  
registo de alterações e avaliação de  
desempenho

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade

Trabalho efectuado sob a orientação de  
Professor Doutor Cristina Maria Santos Rodrigues  
Professor Doutor Sérgio Dinis Teixeira de Sousa

## DECLARAÇÃO

Nome:

Mário André Oliveira Faria

Endereço eletrónico: maof\_85@hotmail.com Telefone:253687103 / 914025479

Número do Bilhete de Identidade:12818989

Título da dissertação:

**Controlo de qualidade e inspeção visual por imagem: definição de uma aplicação para registo de alterações e avaliação de desempenho**

Orientadores:

Cristina Maria Santos Rodrigues e Sérgio Dinis Teixeira de Sousa

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado:

Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A  
REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO

Universidade do Minho, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Assinatura:

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho resulta de muita dedicação e esforço pessoal, mas como tudo na vida, existem fatores que influenciam (neste caso pela positiva) o desenvolvimento do mesmo.

Gostaria de deixar uma palavra de gratidão aos orientadores Professor Doutor Sérgio Dinis Teixeira de Sousa e Professora Doutora Cristina Maria Santos Rodrigues, pela dedicação, disponibilidade e muito empenho demonstrado. Sem a ajuda dos quais não seria possível a conclusão do mesmo.

Claro que não poderei esquecer os colegas incansáveis da Bosch de Braga que sempre me apoiaram e se mostraram disponíveis para ajudar incondicionalmente, em especial à orientadora interna Isabel Delgado e ao Rui Braga que foram grandes impulsionadores da melhoria no processo.

E por último, mas não menos importante, quero agradecer à minha esposa Bruna Faria pelo apoio e compreensão durante esta longa caminhada académica.

Muito Obrigado!



## RESUMO

O processo de soldadura eletrónica Surface Mounting Technology (SMT) é amplamente utilizado na produção de bens eletrónicos nos dias de hoje. Para melhorar a qualidade dos produtos a empresa onde se desenvolveu este projeto utiliza um sistema de inspeção ótica automático (AOI) para identificar eventuais defeitos. Este sistema de inspeção é complexo e pode mesmo introduzir falhas que resultam em classificações erradas de produtos bons e defeituosos. Tal sistema é complementado por um especialista que analisa os mesmos produtos. O principal objetivo do trabalho consiste em definir propostas para melhorar o funcionamento do processo de inspeção ótica. O foco do projeto é sobre os dados de qualidade que são obtidos no referido processo. Para tal foram aplicadas as ferramentas de análise e melhoria da qualidade como o diagrama de Ishikawa que permitiu relacionar possíveis causas com o problema a ser tratado, a Análise de Pareto que permitiu selecionar as causas mais importantes do problema, assim como a representação do processo ficou mais fácil com a utilização de um Fluxograma. O Brainstorming foi utilizado em reuniões para divulgar o projeto e recolher perceções de pessoas relacionadas com o processo, com formações académicas distintas e perspetivas heterogéneas do processo. Assim, houve uma fase em que foram observadas as características do sistema de inspeção e dos recursos de suporte ao mesmo. Posteriormente analisaram-se os indicadores de qualidade, os dados de manutenção e de avarias fazendo uso de várias ferramentas.

Por fim, foram reunidos todos os pressupostos, ponderadas as vantagens e limitações de diferentes alternativas de ação, e foram propostas ações de melhoria. Destaca-se a criação de uma aplicação (AOI Performance Meter), para materializar a medição do desempenho do AOI, entre outras funcionalidades. Foi também definida uma metodologia de aplicação de ações de manutenção preditiva, de forma a melhorar a previsibilidade e fiabilidade dos equipamentos. Nas propostas de melhoria foram considerados os respetivos custos de implementação e manutenção. Nas propostas apresentadas é expectável que os benefícios compensem os custos. Conclui-se que os objetivos definidos foram alcançados.

## PALAVRAS-CHAVE

*Automatic Optical Inspection*, sistema de medição de desempenho, manutenção preditiva, ferramentas da qualidade, *Bosch Production System*





## **ABSTRACT**

The electronic welding process Surface Mounting Technology (SMT) is widely used in the production of electronic goods nowadays. To improve the quality of products the company which this project was developed uses an automated optical inspection system (AOI) to identify any defects. This inspection system is complex and may even introduce failures that result in erroneous ratings of good and defective products. Such system is complemented by an expert who analyzes the same products. The main objective of the study is to define proposals to improve the operation of the optical inspection process. The project focus is on quality data that are obtained in that case. To do this we applied analytical and quality improvement tools such as the Ishikawa diagram that allowed to relate possible causes to the problem being treated, the Pareto analysis allowing us to select the most important causes of the problem, as well as the process representation was easier with the use of a flowchart. Brainstorming was used in meetings to promote the project and gather perceptions of people related to the process, with different academic backgrounds and varying perspectives of the process. Thus, there was a phase which describe the inspection system characteristics and it's support resources. Subsequently quality indicators, maintenance data and breakdowns were analyzed by making use of various tools.

Finally, gathered all assumptions, weighed the advantages and limitations of alternative approaches, improvement actions were proposed, such as the creation of an application (AOI Performance Meter), to materialize the measurement of AOI performance, among other features. A method of applying predictive maintenance actions, in order to improve the predictability and reliability of the equipment, was also defined. The improvement proposals considered the respective implementation and maintenance costs. For the selected improvement actions it is expected that the benefits outweigh the costs. We conclude that this work's objectives have been achieved.

## **KEYWORDS**

*Automatic Optical Inspection, performance measuring system, predictive maintenance, basic quality tools, Bosch Production System*



# ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Índice.....	ix
Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....	xv
1. Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da dissertação .....	2
2. Revisão da Literatura .....	5
2.1 Controlo de Qualidade e inspeção ótica .....	5
2.2 Processo de Manutenção .....	10
2.3 Avaliação e Indicadores de Desempenho: o Balanced Scorecard.....	12
3. Bosch Car Multimédia: Caraterização e enquadramento.....	15
3.1 Perspetiva geral da organização Bosch Car Multimédia.....	15
3.2 Sistema AOI utilizado: uma breve caracterização.....	18
3.2.1 Bloco de Câmaras.....	21
3.2.2 Sistema de eixos (XX,YY).....	22
3.2.3 Sistema de transporte/fixação dos PCBs .....	23
3.2.4 Sistema de aquisição/processamento de imagem ( <i>BAM box</i> ) .....	23
3.2.5 Sistema de iluminação.....	24
3.2.6 Interface homem – máquina ( <i>Rep station</i> ) .....	25
3.3 Soldadura por Reflow: tipos de defeitos.....	26
3.3.1 <i>Tombstone</i> ou componente levantado .....	26
3.3.2 Curto de solda ou componente com excesso solda .....	27

3.3.3	Componente não soldado ou pouca solda .....	27
3.3.4	Componente em falta ou componente solto .....	27
3.3.5	<i>Bilboarding</i> .....	27
3.3.6	Componente em <i>Upside-down</i> .....	28
3.3.7	Componente deslocado .....	28
3.3.8	Polaridade invertida.....	28
3.3.9	Pino levantado ou má coplanaridade.....	28
3.3.10	Componente rodado .....	29
3.3.11	Componente danificado.....	29
3.3.12	Contaminação.....	29
4.	Projeto AOI <i>Performance Meter</i> .....	31
4.1	Metodologia.....	31
4.2	Diagnóstico da situação existente.....	32
4.2.1	Contexto de análise .....	32
4.2.2	Consumo de peças em 2014 .....	34
4.2.3	Avarias em 2014.....	35
4.2.4	Categoria de fecho de avaria “Otimizar Programa” .....	39
4.2.5	Causas de aumento de pseudoerro e <i>slipthrough</i> .....	41
4.2.6	Causas de <i>Slipthrough</i> .....	43
4.3	Propostas de Melhoria .....	46
4.3.1	Aplicação Informática: AOI <i>Performance Meter</i> .....	46
4.3.2	Manutenção avançada .....	47
4.3.3	Manutenção preditiva .....	48
5.	Conclusão.....	49
	Referências Bibliográficas .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama da Trilogia de Juran (Juran, Godfrey, 2000).....	7
Figura 2- Representação do sistema de iluminação (Viscom, 2007a) .....	9
Figura 3- Orientação das câmaras do AOI (adaptado de Viscom, 2007b).....	10
Figura 4- Diagrama de "Curva de Banheira" (Shahrul & Ahmad, 2012) .....	11
Figura 5- Representação da tendência da degradação de um componente (Shahrul & Ahmad, 2012).....	12
Figura 6- Representação da estrutura do BSC (adaptado de Kaplan, Norton, 1996).....	13
Figura 7- Logotipo Bosch Production System (BPS - Handbook, 2013) .....	15
Figura 8- Bosch Business System (BPS - Handbook, 2013) .....	15
Figura 9- Linha de Produção SMT (adaptado de Bosch Car Multimédia, 2014) .....	18
Figura 10- Fluxograma de processo SMT.....	19
Figura 11- Fluxograma de Classificação de um PCB .....	20
Figura 12- Características funcionais de um AOI (Viscom, 2007a).....	21
Figura 13- Bloco de Câmaras do AOI (Viscom, 2007b).....	22
Figura 14- Eixo do AOI (Viscom, 2007b) .....	22
Figura 15- Controlador de eixo EcoVario (Viscom, 2007b).....	23
Figura 16- Secção do transporte do AOI (Viscom, 2007b).....	23
Figura 17- VmuxM do AOI (Viscom, 2007b) .....	24
Figura 18- Vlic do AOI (Viscom, 2007b).....	25
Figura 19- Vled do AOI (Viscom, 2007b) .....	25
Figura 20- Fluxograma da metodologia desenvolvida.....	32
Figura 21- Número de peças consumidas em 2014.....	34
Figura 22- Valor das peças de substituição (€) .....	35
Figura 23- Número de avarias em cada linha.....	36
Figura 24- Número de avarias por turno .....	36
Figura 25- Distribuição das avarias por tipo de código .....	37
Figura 26- Distribuição de avarias por categoria de fecho.....	39
Figura 27- Desdobramento da categoria de fecho “Otimizar programa” .....	41
Figura 28- Diagrama de Ishikawa 4Ms .....	42
Figura 29- Diagrama de Pareto do Slipthrough .....	44
Figura 30- Evolução de pseudoerros e defeitos (não detetados e não detetáveis) .....	45
Figura 31- Evolução no nº de PCB´s produzidos.....	45



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Trilogia de Juran (adaptado de Juran, Godfrey, 2000) .....	5
Tabela 2- Os três processos de gestão da qualidade (adaptado de Juran, Godfrey, 2000).....	6
Tabela 3- As Perspetivas do BSC (adaptado de Kaplan, Norton, 1992).....	13
Tabela 4- Relação das linhas e máquinas de inspeção (adaptado de Bosch Car Multimédia, 2014).....	33
Tabela 5- Representação dos códigos de avaria e sua descrição.....	37
Tabela 6- Informação de fecho de avaria .....	38
Tabela 7- Representação do risco associado ao processo de inspeção .....	39
Tabela 8- Historial dos dados de qualidade (adaptado de Bosch Car Multimédia, 2014) .....	43





## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AOI – *Automatic Optical Inspection*

APQ – Associação Portuguesa da Qualidade

BBS - *Bosch Business System*

BPS – *Bosch Production System*

BSC – *Balanced Scorecard*

CIP - *Continuous Improvement Process*

CM – *Car Multimedia*

EFQM – *European Foundation for Quality Management*

IFC – *Instrução de Fabricação e Controlo*

ISO – *International Standard Organization*

MOE- *Manufacturing Operations and Engineering*

MTBF- *Mean Time Between Failure*

MTTR- *Mean Time to Repair*

OEE- *Overall Equipment Effectiveness*

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

PCB – *Printed Circuit Board*

SIIA – *Sistema de Informação da Inserção Automática*

SMD – *Surface Mounting Device*

SMT- *Surface Mounting Technology*

SPI – *Solder Paste Inspection*

TPM – *Total Preventive Maintenance*

TPS – *Toyota Production System*



## 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo faz-se o enquadramento do tema do projeto e dos procedimentos utilizados na organização. São explicados os objetivos e o motivo que deram origem ao presente trabalho de investigação.

### 1.1 Enquadramento

O referencial normativo para a área da qualidade ISO 9001:2008 requer para garantir de forma consistente e eficiente a qualidade dos produtos e serviços que as organizações implementem processos de monitorização e medição (ISO, 2008). Tal implementação pressupõe a adoção das melhores práticas, do controlo do processo e de ações fundamentadas que levem o processo a uma espiral de melhoria contínua como sugerido pela Trilogia de Juran (Juran & Godfrey, 2000).

Tradicionalmente, a inspeção visual e controlo de qualidade são feitos por operadores altamente treinados e especializados na função que desempenham (Mital, Govindaraju, & Subramani, 1998). Com a evolução tecnológica foram sendo desenvolvidos esforços para desenvolver sistemas capazes de substituir a interação humana neste tipo de controlo. Esta mudança de intervenientes não se prende com a eficiência do operador, pois nenhuma máquina ou sistema de inspeção consegue ter a sensibilidade que o ser humano possui. Contudo existem vários problemas associados a uma utilização regular de pessoas altamente qualificadas neste tipo de tarefas na indústria. É necessário um período de formação inicial longo, e existe a necessidade frequente de interrupção da tarefa devido a fadiga ou mesmo condições de execução perigosas ou difíceis. Devido a estes fatores a adoção dos sistemas de inspeção automáticos está a ser cada vez mais uma realidade no tecido empresarial (Kopardekar, Mital, & Anand, 1993).

Estes sistemas automáticos de inspeção produzem tipicamente um resultado: peça boa (aceite) ou peça defeituosa (rejeitada). No entanto, estão presentes dois tipos de erros em qualquer avaliação deste tipo: rejeitar erradamente um produto ou aceitar erradamente um produto. Este tipo de erros também é designado por erro tipo I e tipo II ou risco Alfa e risco Beta.

Um tipo particular de inspeção automática é a inspeção ótica. Esta inspeção pode ser realizada durante o processo produtivo, detetando eventuais problemas logo que os mesmos são originados pelo processo produtivo.

## 1.2 Objetivos

A presente dissertação surge de uma lacuna ou oportunidade de melhoria identificada numa empresa, no caso, a Bosch Braga Portugal (Bosch BrgP). O investigador na sua atividade profissional na empresa constatou que são feitas alterações no sistema de inspeção visual por imagem que não ficam registadas nem são posteriormente avaliadas.

A empresa em questão é uma unidade fabril sediada em Braga, sendo parte integrante da divisão de negócio designada por Bosch Car Multimédia. Dedicar-se à produção de soluções eletrónicas de entretenimento, e mais recentemente, instrumentação e sistemas complementares para a indústria automóvel, sendo a maior fábrica portuguesa do grupo em Portugal e uma das empresas que maior volume de exportações faz a nível nacional.

A presente dissertação consiste num estudo de caso do sistema de inspeção ótica existente na empresa, que tem como output um conjunto acabado e pronto para entrar noutras etapas produtivas. A inspeção é uma etapa importante na produção de componentes eletrónicos, através da tecnologia Surface Mounting Technology (SMT) e da soldadura por convecção (Reflow). O sistema de inspeção possui diversos parâmetros que são frequentemente alterados, por vezes para reduzir um tipo de erros acima referido, podendo não existir um procedimento de registo e controlo dessas alterações. Assim, no âmbito a melhoria da qualidade, não existe informação sobre essas eventuais alterações efetuadas ao sistema de inspeção resultando numa limitação ao processo de melhoria do referido sistema.

Com a investigação pretende-se, no âmbito da melhoria contínua, estudar como se faz a avaliação de desempenho num sistema complexo como o Automatic Optical Inspection (AOI). Mais especificamente pretende-se:

- Definir um sistema de avaliação do desempenho envolvendo o AOI.
- Desenvolver uma solução informática para registo de alterações ao AOI.
- Implementar e avaliar a solução desenvolvida.

## 1.3 Estrutura da dissertação

Para além da presente introdução, esta dissertação está organizada em quatro capítulos adicionais.

O Capítulo 2 é dedicado a uma breve revisão da literatura. A revisão apresentada aborda os principais temas do trabalho de investigação e serve para ter uma perspectiva sobre o “estado da arte”.

No Capítulo 3 é feito o levantamento geral da situação da empresa, os processos implementados, as políticas de qualidade e toda a envolvente que tem influência no desempenho do processo em análise e na empresa no seu todo.

No Capítulo 4 é apresentado o projeto e está descrita a fase de análise e aplicação das ferramentas utilizadas durante o processo de investigação que deram origem a um conjunto de medidas propostas.

Finalmente nas Conclusões, apresentam-se e discutem-se as principais ideias bem como um conjunto de sugestões que compreendem medidas a serem implementadas em trabalhos futuros.



## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo fez-se uma pesquisa pelas temáticas que mais se identificam com os objetivos do projeto e influenciam o desenvolvimento científico na área da qualidade. Através dessa pesquisa reviram-se acontecimentos que mudaram a forma de abordagem a determinadas questões da qualidade. Foi revisto o estado da arte em matérias mais concretas tais como os equipamentos AOI, as suas características inovadoras e também as suas falhas ou dificuldades.

### 2.1 Controlo de Qualidade e inspeção ótica

Joseph M. Juran é um dos autores que mais se debruçou sobre a problemática da qualidade e das técnicas para fazer a sua gestão. No ano de 1951, Juran faz a publicação de sua primeira edição de *Juran's Quality Control Handbook*. Segundo (Juran & Godfrey, 2000) existem três processos de gestão da qualidade que em conjunto constituem a trilogia da Qualidade: (1) planeamento da qualidade, (2) controlo da qualidade e (3) melhoria da qualidade (ver *Tabela 1*).

Tabela 1- Trilogia de Juran (adaptado de Juran, Godfrey, 2000)

<b>Processo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Objetivo</b>
Planeamento da Qualidade	Preparar os meios para o cumprimento dos objetivos da qualidade	Atingir objetivos de qualidade em operação
Controlo da Qualidade	Meios necessários para garantir que os objetivos da qualidade são cumpridos	Conduzir a operação de acordo com o plano
Melhoria da Qualidade	Meios necessários para alcançar um desempenho sempre melhor	Levar as operações a desempenhos sem precedentes

Sendo que cada um dos processos se assemelha a processos utilizados pela gestão financeira das empresas, os gestores analisam o que tem de ser feito durante o ano que se aproxima, definem orçamento para essas tarefas e convertem-no em objetivos financeiros (Planeamento Financeiro). O processo seguinte (Controlo Financeiro) faz o seguimento das tarefas e das derrapagens orçamentais e atua nos desvios. Por último na Melhoria Financeira, são tomadas medidas de melhoramento de performance, redução de custos, aumento de vendas e outras de forma a serem feitas correções para futuros planeamentos e aumentar o retorno financeiro. Esta foi uma analogia que serviu Juran para explicar aos gestores de sua época que passavam por dificuldades derivadas dos custos da má qualidade e perda de quota de mercado externo.

Os gestores americanos atravessavam um cenário negro e necessitavam de inverter o rumo da situação pelo que Juran apostou numa generalização de suas ideias, e desta forma a sua trilogia poderia ser aplicada em qualquer tipo de empresa e em todos os níveis hierárquicos. Para tal ser um sucesso deveria haver uma mudança de mentalidades e pensar a qualidade numa forma universal, sendo que os conhecimentos adquiridos pelos gestores na área financeira são passíveis de serem aplicados na qualidade. Contudo cada um dos processos deverá seguir a estrutura representada na Tabela 2.

Tabela 2- Os três processos de gestão da qualidade (adaptado de Juran, Godfrey, 2000)

<b>Planeamento da Qualidade</b>	<b>Controlo da Qualidade</b>	<b>Melhoria da Qualidade</b>
Estabelecer objetivos da qualidade	Avaliar performance atual	Provar a necessidade
Identificar quem são os clientes	Comparar performance atual com os objetivos da qualidade	Estabelecer a infraestrutura
Identificar as necessidades dos clientes	Atuar nos desvios	Identificar projetos de melhoria
Desenvolver características do produto que correspondam às necessidades dos clientes		Estabelecer equipas de projeto
Desenvolver processos que sejam capazes de produzir as características dos produtos		Fornecer incentivo, meios e formação às equipas para: diagnosticar causas e simular soluções
Estabelecer controlos de processo, transferir os planos para a esfera operacional		Estabelecer controlos para manter os ganhos

O autor expressou a sua visão de forma mais prática e visual com a representação presente na *Figura 1*. Nela estão representadas várias grandezas e ideias pertinentes para a implementação prática.



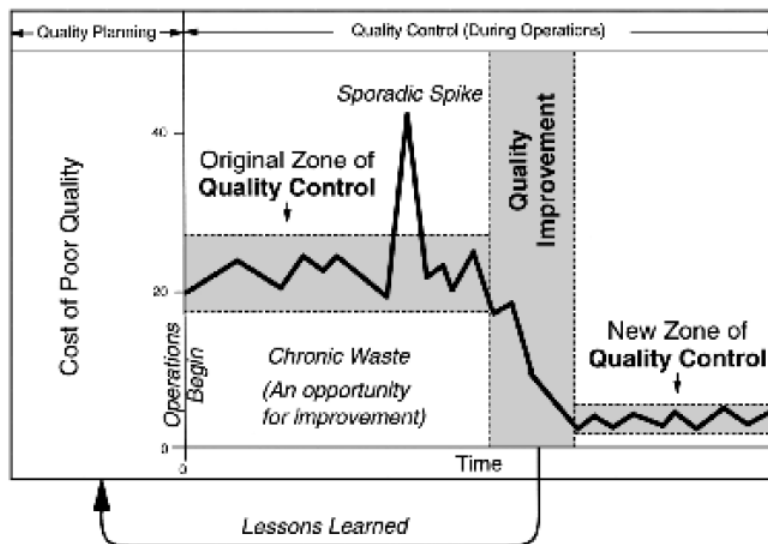


Figura 1- Diagrama da Trilogia de Juran (Juran, Godfrey, 2000)

Na *Figura 1* observa-se um gráfico com dois eixos, sendo que o eixo horizontal representa a dimensão temporal e o vertical indica o custo da má qualidade. Os processos produtivos apresentam oscilações de qualidade intrínsecas à natureza dos mesmos, é natural que as pessoas que lidam diariamente com eles não observem aspectos de melhoria nem identifiquem causas para os problemas que vão surgindo. Este desperdício inicial é considerado crônico pois muitas vezes ouvem-se testemunhos que afirmam que o processo nunca funcionou melhor, ou que não existe forma de o colocar a funcionar melhor. Contudo deverá sempre existir um acompanhamento próximo tanto das equipas técnicas como das chefias de modo a estarem atentos a variações esporádicas das condições de trabalho e conseqüentemente aos custos associados a essas mesmas variações. Numa primeira fase de atuação deverá ser identificada a causa do desvio e ser corrigida. Esta forma de atuação está relacionada com o processo de controlo da qualidade. Na altura em que o processo produtivo voltar a entrar na normalidade (custos da qualidade a rondar o valor 20) devem ser adotadas medidas de melhoria. Essas medidas fazem parte do processo seguinte (Melhoria da Qualidade) e apenas devem ser implementadas em processos estáveis de forma a ser avaliada a eficácia de medidas adotadas. Esta etapa foca-se nos aspetos que se situam fora do campo de atuação das equipas no “*shop floor*” e implicam alterações de procedimentos ou até mesmo de reengenharia. Essas atividades têm como objetivo a redução dos custos de má qualidade para níveis notáveis e sem precedentes, pois dessa forma se conseguem reduzir custos de material sucata, retrabalho, excesso de *stock* e possivelmente atraso na entrega do produto terminado. Seguindo a ideia representada na figura 1, todas estas ações de melhoria culminam no estabelecimento de uma nova zona de controlo de qualidade, tendo um custo de má

qualidade notavelmente inferior. Pode-se categorizar os custos da má qualidade em três categorias. Sendo elas os custos das não conformidades, os custos com processos ineficientes e por último os custos com a perda de oportunidade de vendas (Juran & Godfrey, 2000).

No período da revolução industrial apenas as altas taxas de produção eram importantes e não existia grande preocupação com aspetos de qualidade inerentes ao produto. Houve mudança na forma de pensar e gerir os processos, e surgiu a necessidade de introduzir controlos de qualidade que, por opção, são feitos por amostragem ou a todo o produto dependendo da gravidade de ocorrer uma falha no cliente durante o período legal de garantia. Essas inspeções são feitas por pessoas devidamente treinadas e com competência para tal, o que nos remete para os custos associados com a formação, recrutamento e salário de pessoas para desempenhar tal tarefa. Em alguns casos extremos, o custo de inspeção poderá ser aproximado ao custo de produção (Newman & Jain, 1995).

No sentido de aproveitar esta oportunidade de mercado, as empresas do ramo eletrónico têm vindo a desenvolver esforços para apresentar soluções cada vez mais económicas, fiáveis e robustas para substituir o ser humano nas tarefas de inspeção visual. Essa substituição além do custo associado prende-se ainda com o facto de que mesmo se aplicada apenas a uma atividade muito específica, a inspeção visual humana no máximo tem uma eficácia de 80% (Newman & Jain, 1995). Com os avanços tecnológicos das máquinas de montagem automática de componentes e conseqüentemente com o aumento da capacidade de produtividade dessas mesmas linhas de produção torna-se inoportuna a utilização de métodos de inspeção ótica manual (Zhang, 1996).

A inspeção ótica não é exclusiva da indústria eletrónica, nem de produtos miniaturizados. Existem vários tipos de aplicações destes sistemas de inspeção, com adaptação dos seus recursos que dão resposta às tarefas mais exigentes. No setor agrícola, e em especial na indústria do algodão, existe uma força de trabalho humana elevada pois a matéria-prima é alvo de muita contaminação. A dificuldade de deteção de impurezas é grande e os operadores têm uma eficiência baixa pelo que este tipo de inspeção ótica está a ser cada vez mais usado devido à sua flexibilidade e carácter não destrutivo, conferindo uma deteção superior, com taxas de produtividade elevadas (Hang & Li, 2014). Esta tecnologia tem vindo a despertar a curiosidade da comunidade científica e têm vindo a ser desenvolvidos esforços para a sua aplicação nos mais variados ambientes. Kuo-Liang Lin e Jih-Long Fang (2013) desenvolveram um sistema de inspeção ótico que se destina à inspeção do alinhamento dos tijolos na construção civil. O mecanismo desenvolvido para a medição do alinhamento dos

tijolos (fator de qualidade tanto visual como de robustez física) usa cálculos para os desvios totais. O sistema foi testado e respondeu de forma razoável, pelo que os autores acreditam ser possível reduzir a manipulação indevida dos procedimentos de aceitação, e com isso promover os bons acabamentos na instalação de tijolos (Kuo-Liang & Jhih-Long, 2013).

A inspeção ótica automática de soldaduras tem sido um aspeto crítico para o controlo da qualidade do processo SMT pois o AOI tem o enorme potencial de automatizar por completo o processo de inspeção visual humana (Mar, Yarlagadda, & Fookes, 2011).

O sistema AOI (Automatic Optical Inspection) é composto por vários componentes, contudo o seu princípio de funcionamento, de forma simplificada, consiste na aquisição de imagens por meio de câmaras CCD (*Charge coupled device*) e circuitos de apoio tais como iluminação especificamente desenvolvida para melhorar a qualidade das imagens adquiridas e terminar num resultado de inspeção consistente (Zhang, 1996). Essa necessidade de iluminação específica prende-se com o facto das soldaduras deste processo serem caracteristicamente muito brilhantes e irregulares e terem muito ruído por reflexão, o que dificulta a inspeção e induz o equipamento em erro (Mar, Yarlagadda, & Fookes, 2011). Existem várias estratégias de iluminação, contudo os equipamentos mais recentes conjugam várias técnicas para melhorar a performance e estabilidade do sistema. Utilizam um arranjo estruturado de Leds (*Light Emitting Diode*) para projetar a luz de diferentes ângulos (ver Figura 2) a incidir nas soldaduras.

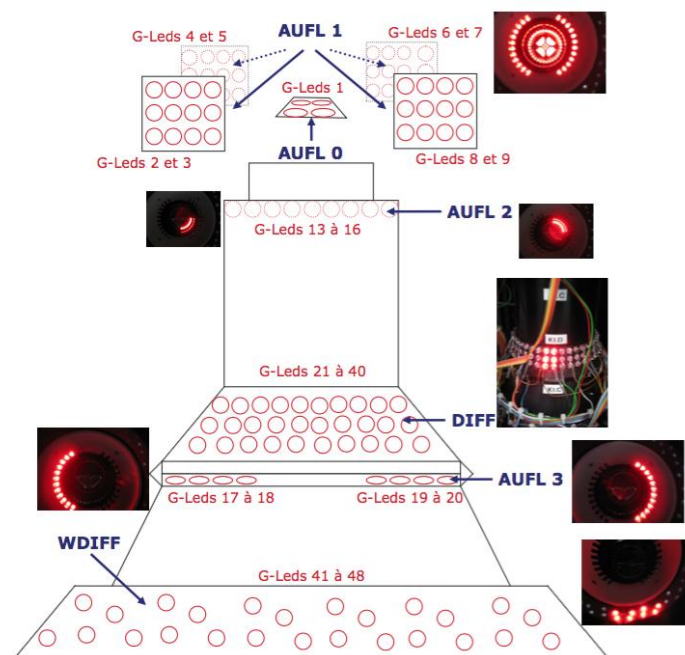


Figura 2- Representação do sistema de iluminação (Viscom, 2007a)

Através de um mapa de inclinação é retirada a informação das imagens e baseada na forma das soldaduras reduz a falsa rejeição em 7.69% (Mar, Yarlagadda, & Fookes, 2011). Combinam ainda imagens ortogonais e oblíquas a “preto e branco” com a utilização de duas configurações de visualização. Ou seja, utilizam câmaras ortogonais que se posicionam perpendicularmente em relação ao plano dos PCBs, e câmaras angulares que se posicionam aproximadamente a 40° do plano vertical. De qualquer forma existe uma necessidade importante de garantir com precisão a posição geométrica das câmaras (Ong, Samad, & Ratnam, 2008). Na Figura 3 estão identificados os dois grupos de câmaras, à esquerda pode-se observar as câmaras ortogonais e a sua posição perpendicular ao plano dos PCBs, no outro extremo da figura estão as câmaras angulares cuja inclinação é perceptível.

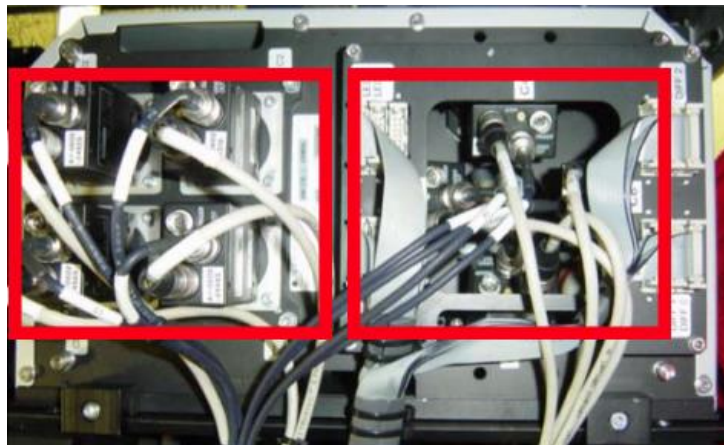


Figura 3- Orientação das câmaras do AOI (adaptado de Viscom, 2007b)

## 2.2 Processo de Manutenção

### Manutenção Preventiva

Esta técnica de manutenção tradicional baseia-se na análise do tempo entre falhas dos componentes. Manutenção Preventiva assume que o comportamento de falha dos equipamentos é previsível e assume uma distribuição de “Curva de Banheira” (Shahrul & Ahmad, 2012).

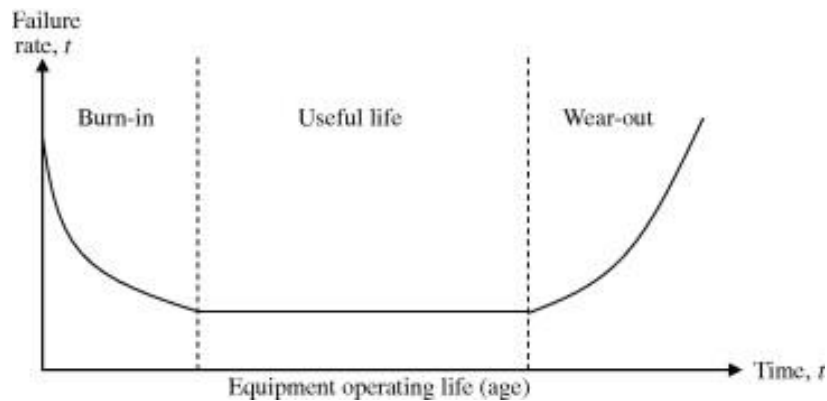


Figura 4- Diagrama de "Curva de Banheira" (Shahrul & Ahmad, 2012)

Na *Figura 4* estão representadas as três fases que caracterizam o comportamento típico de um componente no que respeita às falhas. Inicialmente existe uma zona na qual o componente vai apresentar falhas mais frequentes até atingir a zona de estabilização na qual vai manter um desempenho constante. Contudo com o passar do tempo o componente irá apresentar degradação, e os problemas vão começar a acontecer. A Manutenção Preventiva deverá dar resposta a esse acontecimento e antecipar a rutura ou mau comportamento do componente com uma intervenção preventiva. O modelo de distribuição Weibull tem vindo a ser amplamente utilizado para modelar as falhas de uma gama alargada de materiais e em inúmeras outras aplicações devido a sua aptidão para modelar função de risco crescentes, decrescentes ou constantes (Bebbington, Lai, & Ricardas, 2007). Contudo sempre que um equipamento sofre uma intervenção preventiva, este considera-se estar num estado igual a novo, mas em sistemas complexos nem sempre se pode assumir tal estado. O que remete para o conceito de manutenção imperfeita. Este conceito refere-se ao efeito das atividades de manutenção quando após a intervenção não se assume o estado igual a novo e apenas se considera estar mais jovem (Pham & Wang, 1996).

### **Manutenção Preditiva**

Manutenção preditiva é a mais popular e moderna técnica de manutenção discutida na literatura (Han & Song, 2003; Moya, 2014). Este tipo de manutenção foi introduzido em 1975 com a intenção de maximizar a eficácia da manutenção preventiva. Manutenção Preditiva é um programa de manutenção que recomenda ações de manutenção baseadas na informação recolhida através da monitorização do equipamento (Jardine, Lin, & Banjevic, 2006). No coração da Manutenção Preditiva está o processo de monitorização das condições, onde os sinais são monitorizados utilizando certos tipos de sensores ou outros indicadores apropriados

(Campos, 2009). Os autores defendem que existem duas limitações principais para a monitorização contínua: é cara pois são necessários dispositivos especiais e devido ao fluxo contínuo de informação é gerado um elevado nível de ruído. Por outro lado a principal limitação da monitorização periódica é a possibilidade de ser perdida informação importante sobre o equipamento entre períodos de monitorização (Jardine, Lin, & Banjevic, 2006). Com base na monitorização, a decisão de intervir num determinado componente ou sistema poderá basear-se na medição atual do valor ou na análise da evolução recente e ser tomada a decisão de prevenir a chegada a uma zona previsível de risco mais elevado, como pode ser observado na *Figura 5*.

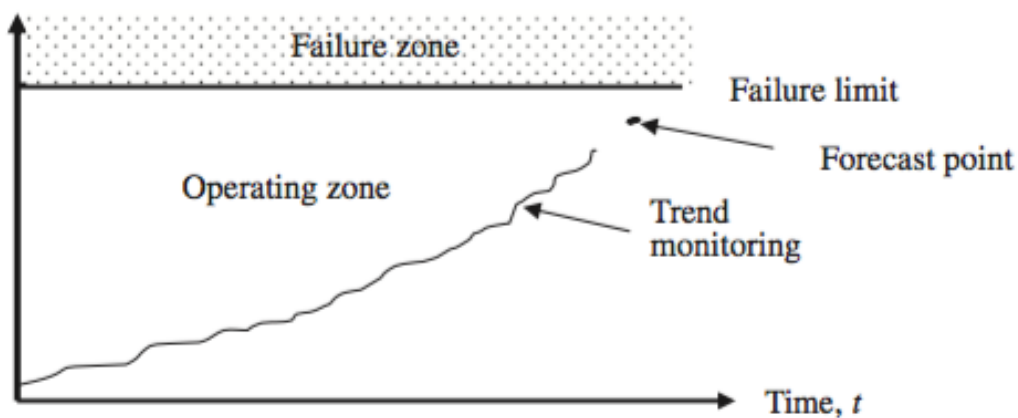


Figura 5- Representação da tendência da degradação de um componente (Shahrul & Ahmad, 2012)

### 2.3 Avaliação e Indicadores de Desempenho: o Balanced Scorecard

Os sistemas tradicionais de informação e auxílio à tomada de decisão utilizados pelas empresas são de vários tipos como sistemas de indicadores, sistemas de contabilidade financeira e analítica, entre outros. A metodologia Balanced Scorecard (BSC) foi desenvolvida por Robert Kaplan e David Norton na década de 1990 e vem dar resposta às preocupações dos autores, existia falta de informação uma vez que o modelo de gestão não articulava as medidas de desempenho com a estratégia organizacional (Kaplan & Norton, 1996). Desta forma desenvolveram um modelo contabilístico que incorpora aspetos intangíveis como as relações externas, satisfação dos clientes, capacidade de inovação, capacidades humanas e o desenvolvimento de processos mais flexíveis (Kaplan & Norton, 1996).

O BSC surge como um sistema que interliga várias dimensões importantes, ele inclui mecanismos de medição de aspetos financeiros, não financeiros e faz o seu alinhamento com a missão e visão da organização. Desta forma permite ao gestor ver os resultados financeiros de medidas e decisões passadas, sendo complementados com aspetos de interação com os clientes, processos internos e aprendizagem e crescimento. Esta forma mista de funcionamento leva ao estabelecimento das quatro perspetivas fundamentais do BSC, representadas na *Tabela 3*.

*Tabela 3- As Perspetivas do BSC (adaptado de Kaplan, Norton, 1992)*

Perspetiva	Objetivo/Questões
Perspetiva do Cliente	De que forma é que os clientes nos veem?
Perspetiva Financeira	De que forma devemos ser vistos pelos nossos acionistas?
Perspetiva dos Processos Internos	Em que é que precisamos ser excelentes?
Perspetiva da Aprendizagem e Crescimento	Conseguiremos continuar a inovar e criar valor?

É recorrente que os gestores que fazem uso deste sistema de avaliação de desempenho (BSC) façam a construção de planos e mapas estratégicos do género do que está representado na Figura 6, através deles vão monitorizando a evolução da organização e através de avaliações periódicas vão ajustando os recursos para atingir os objetivos traçados. Dessa forma atuam nos desvios e corrigem as tendências evolutivas de cada um dos processos da empresa.

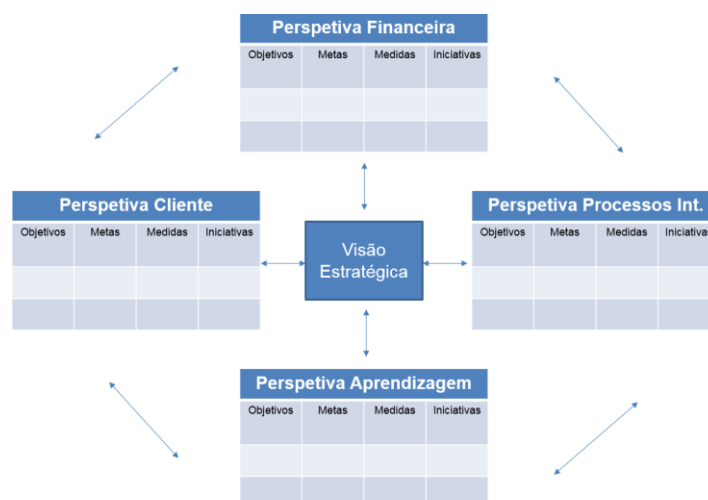


Figura 6- Representação da estrutura do BSC (adaptado de Kaplan, Norton, 1996)

Cada organização que adota o BSC tem naturalmente características distintivas entre si, contudo essa facta não é impeditivo da sua utilização. Cabe à gestão de cada empresa perceber quais os objetivos que mais almejam atingir, e dessa forma tentar traduzir esses objetivos em indicadores. Claro que existem objetivos naturalmente comuns: aumento das vendas, quota de mercado, clientes fidelizados, margem de lucro, entre outros. O que irá distinguir cada organização das restantes é a sua capacidade de articular necessidades e objetivos de forma a criar indicadores que sejam fatores de vantagem competitiva. Dessa forma os recursos utilizados para a criação, manutenção e adaptação de cada um dos indicadores serão recursos bem aplicados na medida em que se obtêm resultados reais. Um bom BSC deve ter o número apropriado e balanceado de medidas e indicadores de desempenho que foram moldados á estratégia da unidade de negócio (Kaplan & Norton, 1996).



### 3. BOSCH CAR MULTIMÉDIA: CARATERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO

#### 3.1 Perspetiva geral da organização Bosch Car Multimédia

A organização sobre a qual este trabalho de investigação incide é a Bosch Car Multimédia, sediada na cidade de Braga. Esta organização possui um grande historial de ações que têm vindo a refinar e amadurecer a cultura de qualidade patente na sua ação. Exemplo disso mesmo é a adaptação do sistema de produção da Toyota, o TPS (Toyota Production System) que por sua vez foi designado como BPS ou Bosch Production System, na *Figura 7* e *Figura 8* está, respetivamente, representado o logotipo e envolvente organizacional do processo produtivo.

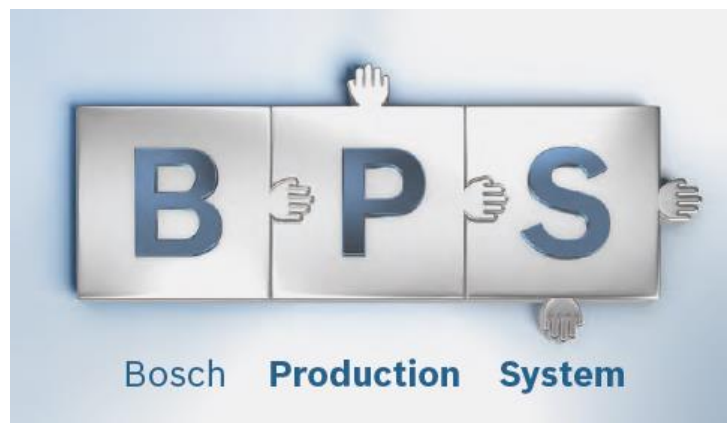


Figura 7- Logotipo Bosch Production System (BPS - Handbook, 2013)

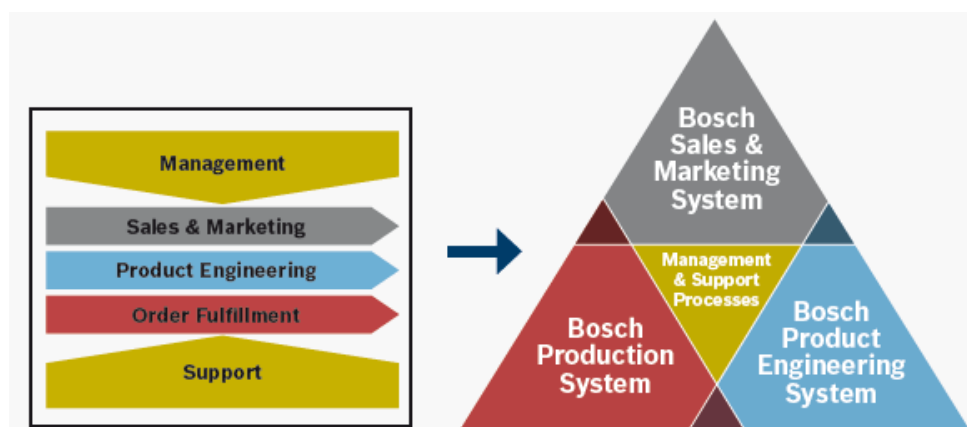


Figura 8- Bosch Business System (BPS - Handbook, 2013)

O BPS foi desenhado tendo como referência o *Toyota Production System* (TPS) e alicerça-se na filosofia *lean* e nas ferramentas que constituem este sistema de produção: (1) *Value Stream*

*Planning, (2) Standardized Work, (3) Levelling, (4) Consumption Control, (5) 5S – Order and cleanliness, (6) Poka Yoke, (7) Lean Line Design e (8) Flow-oriented Layout.*

O *Bosch Business System* assenta em oito princípios:

1. ***Pull principle***- este é um conceito bastante debatido e com grande importância na gestão dos fluxos e processos produtivos que foi adaptado pela Bosch do TPS. A Bosch apenas produz, compra matéria-prima e fornece os produtos que o cliente expressa a necessidade de receber, em determinada data e com determinadas características. O que revela a inversão na decisão de produção (tipicamente as empresas decidiam o que produzir esperando a aceitação do mercado), esse novo conceito de gestão da produção promove uma produção mais *lean*, com a redução de *stock* e tempos de produção ao mínimo.
2. ***Process orientation***- significa que a empresa faz a otimização de seus processos com fundamentação holística ao invés de otimizar os processos independentemente. Esta forma de atuação permite simplificar e agilizar o desenho e controlo dos processos tendo como foco a cadeia de valor do produto.
3. ***Fault prevention***- o objetivo deste tópico assenta na redução de defeitos e “*zero defects*” é a meta estabelecida. Existe uma perseguição constante aos problemas do processo, atuando principalmente na prevenção dos mesmos, combinando sistemáticas de seguimento dos problemas. Desta forma garante-se que as expectativas dos clientes são satisfeitas e que não existe sobrecarga dos colaboradores com retrabalho e controlo extra devido a problemas de qualidade.
4. ***Flexibility***- a empresa tem uma flexibilidade reconhecida dos processos e a todo o momento está predisposta a implementar soluções que visem a melhoria do processo ou que vá de encontro às necessidades especiais do cliente. Os equipamentos são reutilizáveis e alinhados com o tempo de vida de cada produto. A produção está organizada de tal forma que a qualquer altura é possível a integração de novas soluções.
5. ***Standardization***- está patente nos processos a estandardização. Um standard define as melhores práticas que estão a ser postas em prática e são baseadas em lições do passado. Essas mesmas boas práticas pelos bons resultados obtidos foram formalmente estabelecidas, contudo não são estáticas e são reformuladas sempre que se encontrem novas soluções ou métodos mais eficientes.

6. **Transparency-** empresa com processos claros e bem compreendidos, o que facilita as tarefas dos colaboradores e revela facilmente os desvios para que sejam tomadas medidas de correção dos mesmos. Existe fácil acesso a documentação e informação sobre os processos o que promove uma cultura de compreensão e de cooperação.
7. **Continuous improvement-** é um objetivo que está sempre no campo de visão de quem é colaborador Bosch. São frequentemente alterados *standards*, pois *standards* estacionários são considerados como um retrocesso. É frequente a exposição de informação relativa a alterações de normas internas, de acontecimentos que influenciam a qualidade e atividades de promoção da qualidade e valorização pessoal de quem contribui para a qualidade.
8. **Personal responsibility-** todos os colaboradores são conhecedores das suas tarefas, competências e responsabilidades. Essa forma de estar da organização leva os colaboradores a ter consciência da importância de pequenas ações para a qualidade no seu todo. Promove a interação com independência e responsabilidade, pois cada pessoa sabe qual o seu papel tanto na empresa como na Bosch em geral e são incentivados a agir com criatividade e motivação.

Este sistema de produção valoriza toda uma cultura de qualidade, comprometimento individual e trabalho em equipa, desta forma existe um esforço de normalização, documentação, e cumprimento de procedimentos e regras estabelecidas. Além desta dimensão mais operacional, a empresa tem vindo a reunir esforços para atingir níveis de excelência organizacional em diversas áreas de influência. Como prova disso mesmo são as diversas distinções internacionais que é detentora e a nova candidatura ao prémio europeu da excelência formalizada em 2015 na *European Foundation for Quality Management* em Bruxelas.

O “*core business*” da empresa e mais especificamente da divisão CM (Car Multimédia) é o fabrico e comercialização de soluções eletrónicas tendo como cliente alvo a indústria automóvel, pelo que é fornecedora de sistemas de navegação, autorrádios, sensores de direção, sistemas de instrumentação e entretenimento (sem esquecer o nicho da *thermotecnology* o qual possui uma quota de mercado própria com a comercialização de esquentadores, bombas de calor e outros acessórios desta área de negócio).

A área fabril da *Bosch Car Multimédia* está subdividida em duas grandes partes funcionais separadas devido às suas características distintivas e intrínsecas e com focos de gestão independentes:

1. Uma área de produção em laboração contínua a qual se designa por MOE1. Esta está atualmente a funcionar nesta forma devido à necessidade de ser feito o aproveitamento da capacidade disponível dos equipamentos e pelas especificidades do processo SMT (do Inglês *Surface Mount Technology*) que a tornam menos produtiva comparativamente ao processo seguinte.
2. Uma segunda área de produção designada por MOE2 que é cliente interna da anterior. Faz a receção de conjuntos com a inserção de todos os componentes SMT e de alguns componentes (*through-hole* e *pin&paste*) de dimensões mais reduzidas, é responsável pela montagem final dos produtos até à fase de embalagem e envio dos mesmos para o cliente.

### 3.2 Sistema AOI utilizado: uma breve caracterização

A *Bosch Braga* tem o seu processo produtivo assente na tecnologia *Surface Mounting Technology* (SMT). A configuração típica de uma linha SMT pode ser observada na Figura 9.

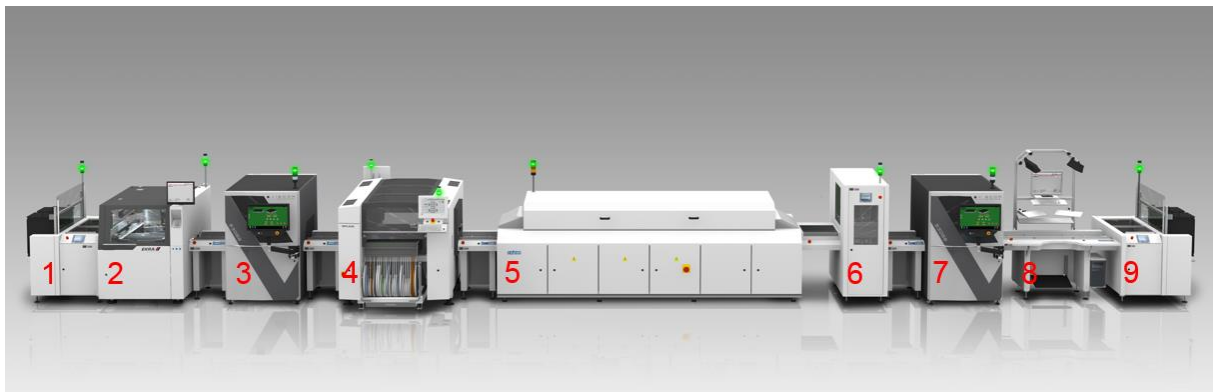


Figura 9- Linha de Produção SMT (adaptado de Bosch Car Multimédia, 2014)

Para além de todos os equipamentos auxiliares como *loaders / unloaders* (1 e 9) e transportes intermédios, as suas linhas produtivas são constituídas por uma máquina de impressão de pasta de solda (2), uma *Solder Paste Inspection* (SPI) (3) que faz a inspeção do depósito de pasta de solda no PCB (do inglês Printed Circuit Board). Logo depois, é feita a inserção automática de componentes na máquina com essa mesma função (4) que completa o conjunto a ser soldado por brasagem no forno de convecção (5). Após esta fase produtiva entra-se numa etapa que não acrescenta valor ao produto, mas que garante a entrega ao cliente interno

de produto semiacabado com a qualidade que é esperada e livre de defeitos. Esta etapa é designada por inspeção ótica, etapa que é o foco deste estudo de caso. Essa inspeção é efetuada pelo equipamento de AOI, equipamento fornecido pela empresa Viscom. Esse sistema de inspeção é constituído por duas partes, a máquina de inspeção e a estação de reparação. Entre os dois equipamentos comunicam automaticamente, pois os resultados da inspeção têm de ser transmitidos em tempo real para a estação de reparação (local onde são classificados os pseudoerros) pois existe um espaço temporal muito reduzido entre o fim da inspeção do PCB e o aparecimento dos pseudoerros (termo utilizado na indústria eletrónica que designa as falhas detetadas pelo AOI) para a classificação do operador.

O fluxograma de processo SMT é resumido na Figura 10.

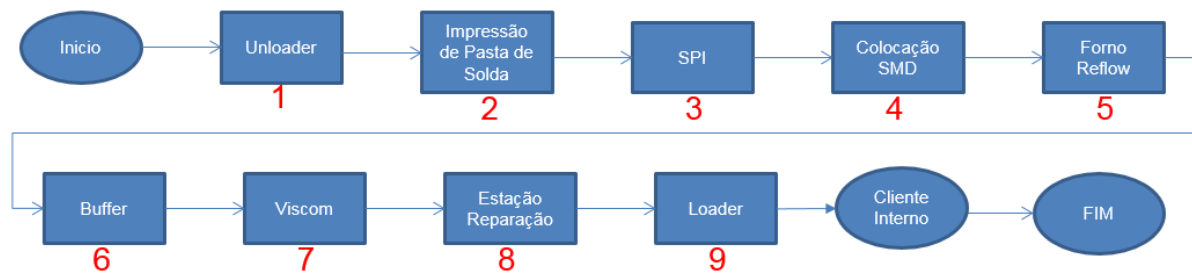


Figura 10- Fluxograma de processo SMT

Durante a produção existe pouca interação entre o operador e o AOI (*Viscom*), pois o operador apenas tem a possibilidade de o pôr em funcionamento e, eventualmente, de o parar quando detetar algum impedimento que possa ocorrer (como por exemplo, PCB's que não entram ou saem da máquina interrompendo o bom fluxo de trabalho da mesma).

É na estação de reparação que o operador tem maior influência no processo, cabe-lhe a ele fazer a decisão e separação entre os pseudoerros e os defeitos reais, e fazer o seu encaminhamento segundo a Instrução de Fabricação e Controlo (IFC). A Figura 11 resume o fluxograma de classificação de um PCB.

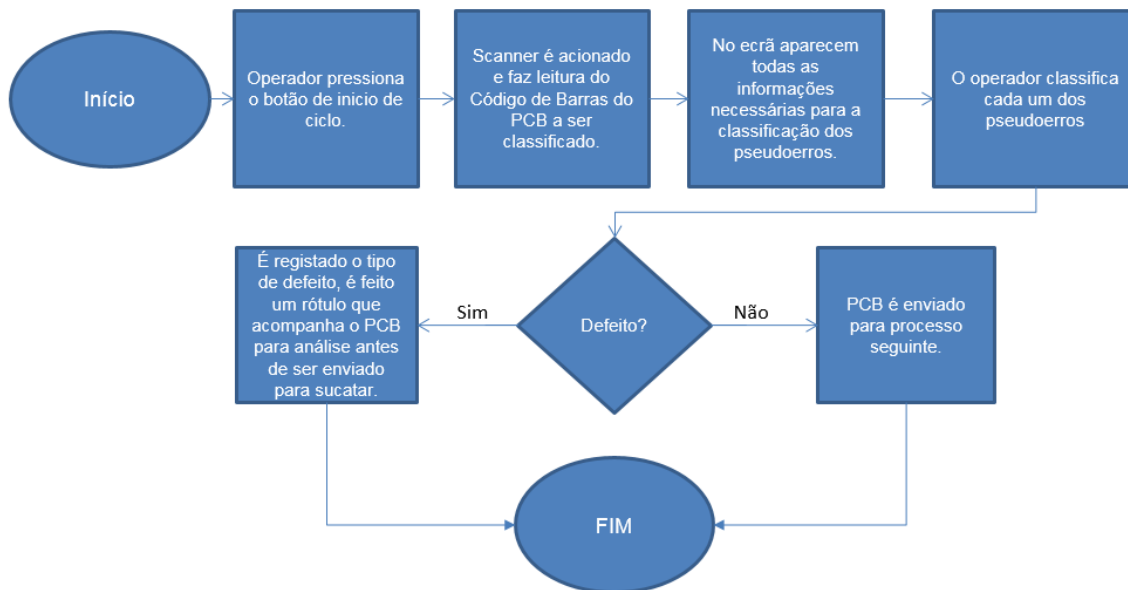


Figura 11- Fluxograma de Classificação de um PCB

Os AOIs utilizados na empresa fazem processamento de imagem Preto e Branco. O princípio de funcionamento deste tipo de equipamentos baseia-se no fenómeno de reflexão superficial dos materiais. Existe uma fonte de luz que é estrategicamente ligada na altura da captura de imagem, essa mesma luz por princípios físicos de reflexão dos materiais é devolvida ao sensor CCD de cada uma das 8 câmaras presentes no AOI. Em função da quantidade de luz recebida pela câmara, o *software* de processamento e análise de imagem, faz a análise das características de cada porção do PCB. Desta forma todas as superfícies que estejam na posição perpendicular à unidade de projeção de luz vão refletir uma maior quantidade de luz que irá ser absorvida pelo sensor das câmaras. O que após o processamento se traduz em zonas de imagem mais claras. Por oposição existem zonas do PCB que não são perpendiculares à unidade de projeção de luz. Como resultado dessa diferença, a luz que nelas incide ao invés de ser refletida para o sensor da câmara é refletida com determinados ângulos para fora do alcance do sensor da câmara e desta forma dá origem a zonas de imagem mais escuras. Tais efeitos óticos facilitam a análise e por sua vez a interpretação da imagem e a aplicação dos algoritmos de teste (têm a função de analisar níveis, variações ou transições de intensidade luminosa).

A Figura 12 resume as características funcionais de um AOI.

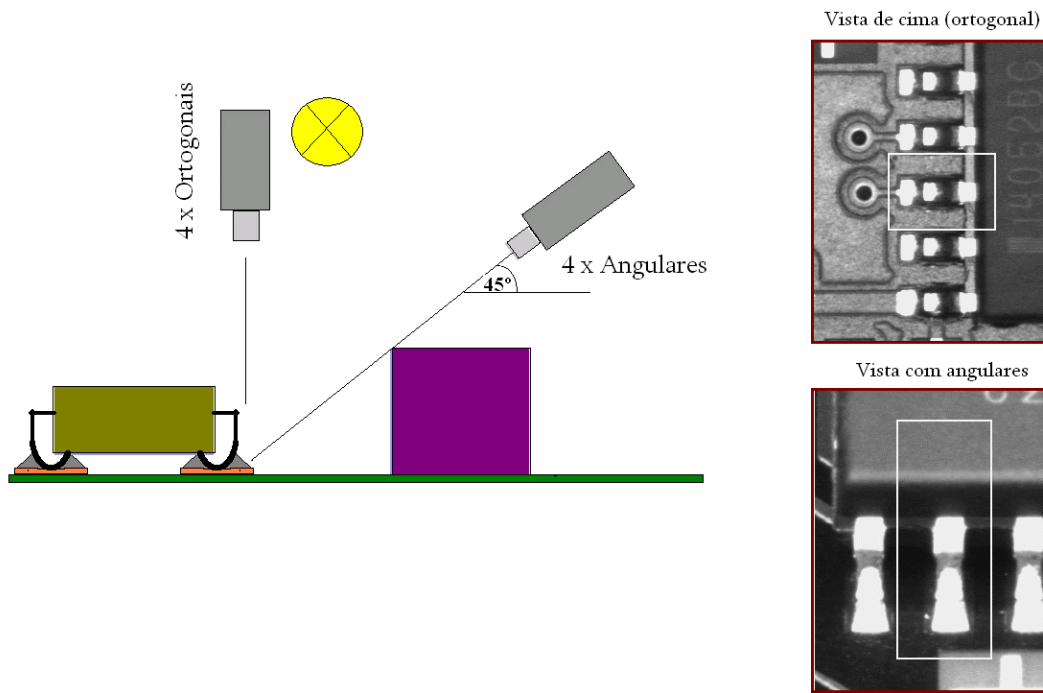


Figura 12- Características funcionais de um AOI (Viscom, 2007a)

Segue-se uma breve descrição das partes constituintes do sistema AOI.

### 3.2.1 Bloco de Câmaras

O Bloco das Câmaras é um dos elementos mais importantes do sistema de inspeção ótica. São as câmaras que fazem a receção da luz refletida pelos componentes e a convertem em imagens que são passíveis de serem interpretadas pelo ser humano. Como pode ser observado na Figura 13 o bloco de câmaras é constituído por 8 câmaras que estão distribuídas em dois conjuntos. Do lado esquerdo da figura observam-se 4 câmaras designadas por ortogonais (esta característica refere-se à posição da câmara, o que significa que se encontram perpendicularmente alinhadas em relação ao plano horizontal), do lado direito da figura estão as angulares (câmaras que estão fixas de forma a estarem a 45° do plano horizontal). Esta configuração permite um aumento da flexibilidade e eficácia da inspeção.

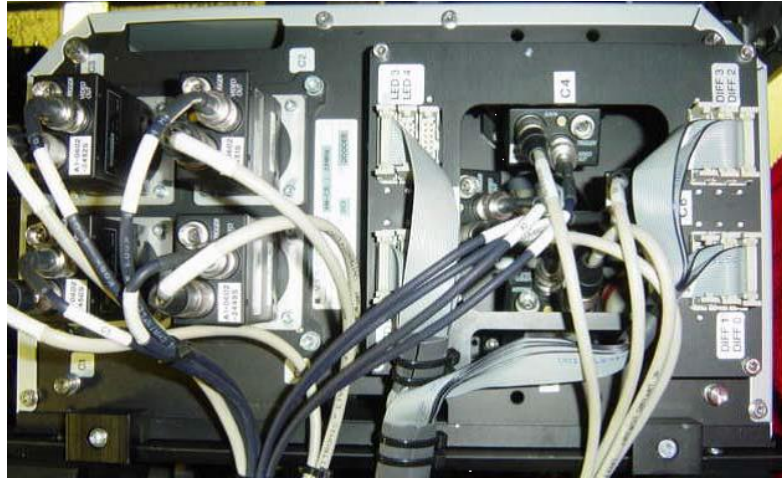


Figura 13- Bloco de Câmaras do AOI (Viscom, 2007b)

### 3.2.2 Sistema de eixos (XX,YY)

O equipamento necessita de posicionar o bloco de câmaras em diferentes posições na zona de trabalho. Esta movimentação é garantida por um sistema de eixos com dois sentidos independentes. Para fazer o movimento existe um motor linear sem escovas para cada um dos sentidos de movimentação. Como se pode observar na Figura 14 facilmente se identifica o arranjo de elementos magnéticos fixos que constituem o estator do motor.



Figura 14- Eixo do AOI (Viscom, 2007b)

Este sistema de eixos é controlado através de dois controladores *EcoVario* (ver Figura 15) e duas resistências de dissipação de energia, muito úteis quando é necessário fazer a travagem brusca dos eixos e ocorre o aparecimento de corrente residual que tem de ser dissipada por intermédio da libertação de calor nessas resistências.





Figura 15- Controlador de eixo EcoVario (Viscom, 2007b)

### 3.2.3 Sistema de transporte/fixação dos PCBs

O transporte dos produtos é feito por intermédio de várias correias impulsionadas individualmente por um motor de passo. Para cada uma das correias existe também uma placa que faz o controlo da velocidade sentido e rampa de aceleração. A correta posição do PCB durante toda a inspeção é um fator crítico. Para que não haja uma movimentação indevida ou mesmo o desnível do PCB foi desenvolvido pelo fabricante do equipamento um sistema electropneumático que pressiona a borda do PCB entre duas guias metálicas garantindo as duas situações, o PCB não se solta nem está desnivelado durante todo o ciclo de inspeção (ver Figura 16).



Figura 16- Secção do transporte do AOI (Viscom, 2007b)

### 3.2.4 Sistema de aquisição/processamento de imagem (BAM box)

Esta parte constituinte do AOI além de funcionar como interface entre outros componentes tais como *Vlic*, *Vleds*, *VmuxM*, *Framegrabber* e o restante sistema, possui ainda mais funcionalidades como por exemplo gerar o pulso de sincronismo. A *framegrabber* é a placa de aquisição de imagens e varia muito sua utilização e vai desde aplicações de controlo de tráfico, aplicações industriais passando por aplicações médicas o que revela a sua

flexibilidade e fiabilidade. Das funcionalidades disponíveis as que mais se destacam são a possibilidade de fazer a ligação de várias câmaras em simultâneo, possuir memória interna, permitirem o controlo do ganho e contraste das imagens capturadas e ainda de permitir a receção de um *trigger* externo o que é de importância fulcral em aplicações de aquisição de imagens em tempo real. A *VmuxM* é a placa que faz a multiplexagem dos sinais de vídeos de cada uma das câmaras do bloco e resulta numa melhoria acentuada pois consegue concentrar até 16 *inputs* em 8 *outputs* (ver Figura 17).

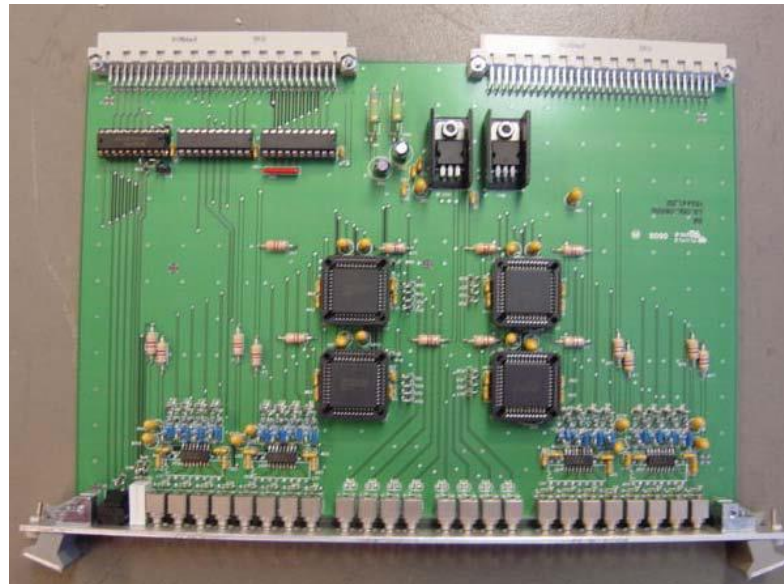


Figura 17- *VmuxM* do AOI (Viscom, 2007b)

### 3.2.5 Sistema de iluminação

A aquisição de imagens das soldaduras pela tecnologia de inspeção ótica é uma tarefa difícil devido ao grande reflexo da superfície das soldaduras. Esses mesmos reflexos poderão aparecer ou desaparecer mesmo com pequenas mudanças na direção de visualização (Kim, Cho, & Kim, 1996). De forma a evitar esse fator de instabilidade estes equipamentos estão equipados com um bloco de iluminações com várias possibilidades de configurações e alternativas que são úteis e versáteis na fase de programação dos algoritmos de teste. A *Vlic* é a placa processadora que controla todas as iluminações e podem ser individualmente reguladas para o correto funcionamento (ver Figura 18).

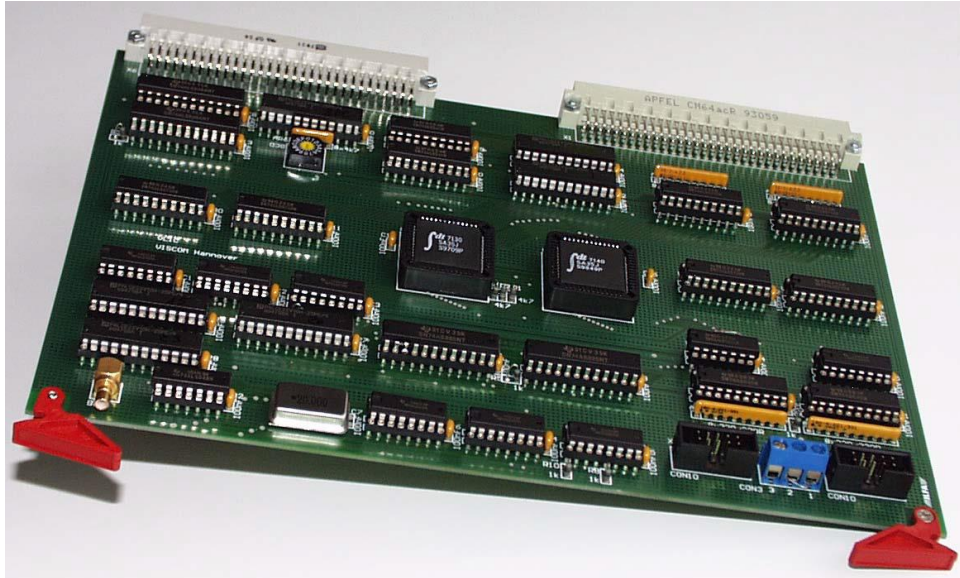


Figura 18- Vlic do AOI (Viscom, 2007b)

Vleds são as placas que controlam a potência fornecida a cada grupo de leds, responsáveis pela iluminação no seu todo (ver Figura 19).

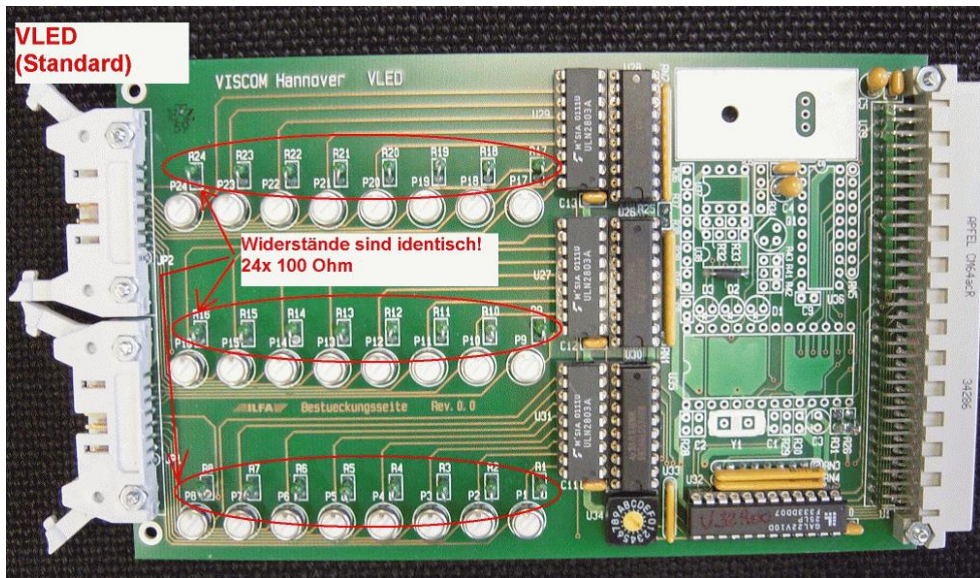


Figura 19- Vled do AOI (Viscom, 2007b)

### 3.2.6 Interface homem – máquina (Rep station)

Este componente é o último da linha de produção (caso não exista um *unloader* em utilização) e está desenhado para ser um posto de trabalho no qual o operador tem à sua disposição todos os recursos para desempenhar a tarefa de classificação dos PCB's. Essa tarefa implica interagir com vários sistemas informáticos e físicos de suporte como são exemplo o transporte

de PCB's, o sistema de inspeção, o sistema de *andon* existente na linha e outros recursos disponíveis a nível informático. Para tal este posto de trabalho está projetado de forma a facilitar as tarefas mais frequentes e evitar movimentos excessivos ou que pela sua natureza possam originar problemas como Lesões Musculoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT). Além desses cuidados para com o operador/trabalhador são tidos em conta possíveis riscos para o produto e são controlados múltiplos fatores de risco para o produto como o excesso de manuseamento e o encaminhamento errado do mesmo que criam problemas que a organização conhece e tenta mitigar com alterações e inovações constantes no processo.

### **3.3 Soldadura por Reflow: tipos de defeitos**

O aparecimento de defeitos resultantes do processo de soldadura por *Reflow* é um problema que todas as empresas identificam no seu dia-a-dia e tentam mitigar. Para uma melhor análise das causas raiz desses defeitos é necessário ter um conhecimento da gama de defeitos que poderão ocorrer, conhecer as causas mais prováveis que originam cada tipo de problema individualmente e a forma de as eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrerem. No que diz respeito aos defeitos podem-se identificar causas diversas, uma das que mais surge é a má colocação do componente que origina diversos tipos de defeitos, a má impressão da pasta de solda e componentes que não apresentam as condições ideais para que o resultado final seja satisfatório. De seguida é feito um resumo dos problemas e uma breve descrição de cada um.

#### **3.3.1 *Tombstone* ou componente levantado**

*Tombstone* é o termo utilizado para designar um defeito no qual existe uma ligação defeituosa entre o componente e o PCB. Este defeito ou não conformidade ocorre com alguma frequência em componentes em que apenas existem dois terminais de ligação. Poderá ser causado por vários fatores individuais ou pela conjugação de alguns dos mesmos. Tipicamente o componente apresenta uma disposição não paralela ao PCB, sendo que essa inclinação é causada pelo aparecimento de uma força rotacional (torque) na altura de Reflow. Essa força é resultado de diferenças de temperatura entre os 2 pads, deslocação do componente ou do depósito de pasta de solda, o que faz variar as tensões superficiais individuais de cada *pad*.

### 3.3.2 Curto de solda ou componente com excesso solda

Estes defeitos estão muitas vezes correlacionados, são causados na maioria das vezes pela impressão da pasta de solda. Pasta de solda apresenta problemas ou na forma ou na quantidade. Muitas vezes ultrapassa a zona pretendida e quando se dá o *Reflow* existe material ligante desnecessário o que forma as pontes ou curtos de solda. Esses defeitos são por vezes muito difíceis de serem detetados pois os curtos de solda tendem a formar-se em zonas onde as distancias entre os terminais dos componentes são mais pequenas e onde os componentes estão mais juntos.

### 3.3.3 Componente não soldado ou pouca solda

Ao inverso dos defeitos descritos anteriormente, este problema acontece quando a quantidade de material ligante é inferior à esperada. A ligação elétrica entre as partes envolvidas é muito pobre ou mesmo inexistente. Não se estabelece uma soldadura com boas características tanto elétricas como mecânicas pois além de uma boa ligação elétrica por vezes há a necessidade de garantir a robustez de posicionamento de determinado componente. Desta forma não se confere ao produto acabado a qualidade esperada ou origina-se o mau funcionamento do mesmo.

### 3.3.4 Componente em falta ou componente solto

Tal como o próprio nome do defeito sugere, ao ser classificado um defeito deste género identificou-se a ausência de um componente. Por algum motivo houve um desvio no processo e não foi colocado na etapa anterior ou foi deixado cair numa posição onde não é suposto. Este desvio além da alteração lógica do circuito onde não foi colocado o componente poderá comprometer outras partes do produto, há um risco muito elevado que um componente solto vá alojar-se num local sensível e que provoque o mau funcionamento de outros componentes ou até que cause um curto-circuito.

### 3.3.5 *Bilboarding*

Este defeito caracteriza-se pela posição incorreta do componente e mais especificamente pela colocação do componente assente pela parte lateral do mesmo. O componente é dimensionado pela engenharia do fornecedor para um bom funcionamento em determinada posição. Se por algum motivo essa posição aconselhada não for garantida poderão ocorrer problemas. Ao posicionar o componente levantado lateralmente vai haver uma área de soldadura inferior, um

volume de menisco inferior e muitas vezes a possibilidade do componente não estar a desempenhar a função a que se destina.

### 3.3.6 Componente em *Upside-down*

Mais uma vez trata-se de um problema de orientação dos componentes. Ao invés de estarem na posição tecnicamente aconselhada, estes componentes com colocação defeituosa, posicionam-se com a face inferior voltada para cima. Na generalidade dos componentes essa mesma posição acarreta um problema de qualidade, sendo que em alguns casos poderá ser considerado um defeito admissível e por sua vez ser considerado um defeito que serve como indicador do bom estado de funcionamento do processo.

### 3.3.7 Componente deslocado

Entenda-se deslocamento de um componente como o *offset* entre a posição de colocação ótima e a posição real do componente após a soldadura por Reflow. Este desfaseamento de posição é avaliado em dois eixos sendo eles o eixo dos X e o eixo do Y. Sempre que um determinado componente não esteja deslocado mais que 50% da largura/comprimento do terminal do mesmo este tem um deslocamento aceitável e poderá ser admitido como componente em conformidade.

### 3.3.8 Polaridade invertida

Este problema é muito pertinente em componentes nos quais há uma obrigatoriedade de garantir a orientação dos mesmos de forma a assegurar o bom funcionamento do produto. Existindo uma gama de sinais de polaridade bastante vasta, a boa orientação dos componentes é por vezes de interpretação dúbia o que dificulta tanto a inspeção como a própria classificação por parte dos operadores.

### 3.3.9 Pino levantado ou má coplanaridade

Por vezes ocorre a dúvida na classificação de defeitos entre componentes levantados e componentes em má coplanaridade ou pinos levantados. A regra que define a diferença entre componente levantado e em má coplanaridade é a posição relativa do componente. Caso haja a elevação do corpo do componente em relação ao PCB estamos perante um componente levantado. De outra forma, caso o componente esteja paralelo ao e junto ao PCB estamos na presença de uma componente com pinos levantados.



### 3.3.10 Componente rodado

Este problema pode ser resultado de uma colocação deficiente do equipamento (com essa função), ou mesmo de outros fatores como os que originam componentes em *Tombstone* (defeito caracterizado pelo levantamento de um dos terminais de soldadura). A característica diferenciadora deste tipo de defeito é o facto de o componente se apresentar com um deslocamento angular relativamente à posição pretendida. Esse deslocamento poderá ser admissível se 50% da largura/comprimento do terminal do componente estiver devidamente soldado ao *pad* do PCB.

### 3.3.11 Componente danificado

No processo em questão existem várias alterações intencionais de grandezas físicas que resultam na mudança de estado de algumas substâncias que propiciam o resultado final desejado. Existe uma grande variação térmica ao longo do processo de *Reflow*, o que só por si causa muito *stress* mecânico nos componentes e fragilizam os mesmos. Além de ocorrerem outras manipulações que causam também alterações físicas como estiramento e *bending*. Estas poderão ser algumas das causas do aparecimento de componentes danificados que na generalidade apresentam fissuras, quebras e danos gerais visíveis.

### 3.3.12 Contaminação

Contaminação é um termo muito vasto. Contudo aplicado ao processo produtivo em questão, retrata situações na qual exista um produto ou conjunto com uma ou mais substâncias parasitas que comprometam o bom funcionamento ou estética do mesmo. Existem várias substâncias passíveis de contaminarem um produto, sejam elas provenientes dos materiais utilizados no processo ou contaminações externas resultantes de mau manuseamento ou acidente.





## 4. PROJETO AOI *PERFORMANCE METER*

### 4.1 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho de investigação é o “Estudo de caso”. Trata-se de uma abordagem metodológica de investigação amplamente utilizada quando se procura aprofundar o conhecimento, compreensão e funcionamento de um determinado processo complexo, e que se comprova a menor eficácia ou inadequação de outras metodologias (Benbasat, Goldstein, & Mead, 1987).

O processo em estudo é a inspeção ótica de defeitos em PCB's ou AOI (*Automatic Optic Inspection*) existente na Bosch Car Multimédia, Braga. Trata-se de um processo muito dinâmico que tem de se adaptar constantemente às variáveis pertinentes identificadas no processo produtivo que provocam desvios tanto de qualidade como estéticos no produto final. Para ir de encontro a essas variações constantes e garantir uma inspeção livre de falhas e com uma performance reconhecidamente elevada, a empresa tem uma equipa de programadores que vão otimizando os algoritmos de teste para cada grupo de componentes. O conjunto de todos os algoritmos de teste utilizados na inspeção tem o nome de biblioteca de testes, e esta serve de base para toda a inspeção ótica realizada neste processo.

A metodologia envolveu a formação de uma equipa de trabalho com elementos do departamento MOE12-AOI (departamento responsável pela programação, e assistência dos AOIs). Em termos práticos, realizaram-se sessões de *brainstorming* com a equipa e procedeu-se à observação do sistema AOI e à recolha e análise de dados (ver Figura 20).

As sessões de *Brainstorming* foram moderadas pelo investigador encorajando todos os membros da equipa (equipa multidisciplinar que influencia direta ou indiretamente o processo estudado) a interagir livremente sem pressão de nenhum género. Essas sessões de trabalho resultaram na obtenção de várias ideias que posteriormente foram seleccionadas. Após essas duas sessões de diálogo foram executadas diversas tarefas com o objetivo de documentar o real estado do processo e as oportunidades de melhoria existentes. Posteriormente foi dado início à análise dos dados de qualidade, Sistema de Informação da Inserção Automática (SIIA) e manutenção, sendo elaboradas e indicadas sugestões de melhoria.

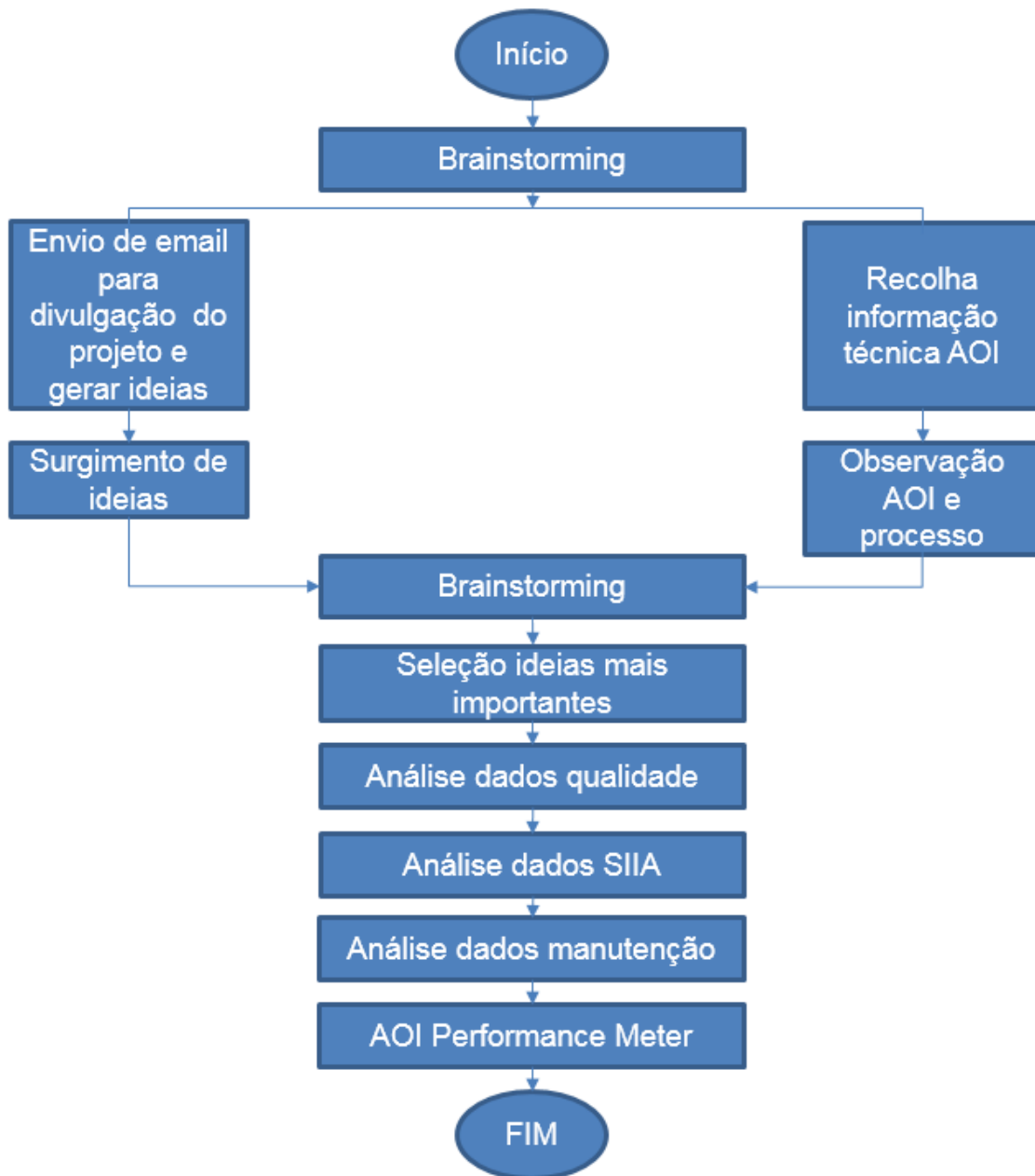


Figura 20- Fluxograma da metodologia desenvolvida

## 4.2 Diagnóstico da situação existente

Esta fase do trabalho pretende analisar informação disponível e pertinente para a caracterização do problema em análise

### 4.2.1 Contexto de análise

A presente investigação centra-se no caso específico de linhas de produção de circuitos integrados onde se montam os componentes numa placa de circuito integrado (PCB) que

contém pasta de solda onde serão colocados e soldados os componentes eletrônicos (Zhang, 1996).

A Tabela 4 resume as linhas e máquinas de inspeção utilizadas pela empresa.

Tabela 4- Relação das linhas e máquinas de inspeção (adaptado de Bosch Car Multimédia, 2014)

<b>Linha</b>	<b>Máquina</b>
SMD1	AOI08
SMD2	AOI10
SMD3	AOI15
SMD6	AOI14
SMD7	AOI06
SMD9	AOI17
SMD10	AOI13
SMD15	AOI24
SMD16	AOI20
SMD19	AOI11
SMD20	AOI15
SMD21	AOI14
SMD22	AOI19
SMD23	AOI13
SMD24	AOI12
SMD25	AOI22
SMD26	AOI16
SMD27	AOI23
AOI - Stand Alone	AOI21

Relativamente à recolha dos dados relativos ao processo de inspeção ótica, foram inicialmente analisadas as seguintes questões:

- Qual é a janela temporal pertinente?
- Quais são os dados que a empresa tem disponíveis?
- Quais são os dados mais importantes para o processo?

Relativamente ao espaço temporal dos dados em análise optou-se pela recolha da informação relativa ao ano de 2014. Essa opção prendeu-se pela constante necessidade da organização em responder a variações de mercado, o que conseqüentemente a leva a fazer modificações no seu *layout* produtivo. Desta forma garante-se uma maior solidez dos dados recolhidos pois irão ser analisadas informações de linhas e equipamentos em utilização atual.

Em seguida foi feita uma seleção dos dados e foi decidido analisar os seguintes dados: registo de avarias, consumo de componentes, valor monetário dos componentes consumidos, defeitos não detetados e nível de pseudoerros.

#### 4.2.2 Consumo de peças em 2014

Durante o ano de 2014 houve uma distribuição do número de peças consumidas nas intervenções de reparação dos equipamentos bastante homogénea entre as linhas de produção com a exceção dos extremos que apresentam valores ligeiramente diferentes (ver Figura 21). Tal facto indicia que os equipamentos de inspeção se encontram num estado de conservação similares entre si e que não existe um grupo de máquinas mais problemático, o que facilita a generalização das medidas a serem tomadas no decorrer do trabalho.



Figura 21- Número de peças consumidas em 2014

Como poderá ser facilmente explicado, nem sempre um número baixo de peças consumidas é sinónimo de baixo custo na manutenção dos equipamentos.

Na Figura 22 estão expressos os valores em euros dos custos associados a cada linha e ao respetivo AOI. Da sua observação destacam-se três linhas: SMD2, SMD27 e SMD22, que apresentam valores mais elevados. O elevado valor na linha SMD2 é explicado pela avaria de dois controladores dos eixos, que representam aproximadamente 97% do custo total de peças compradas para este equipamento. O mesmo sucede na linha SMD22 onde avariou um dos controladores e na linha SMD27 avariou o PC dedicado ao bloco de câmaras. Sendo assim se retirarmos estes consumos considerados como *outsiders*, obtemos um custo reduzido para um

período de manutenção de um ano civil, logo o fator manutenção não se apresenta como um fator preponderante de risco para o bom desempenho do sistema.

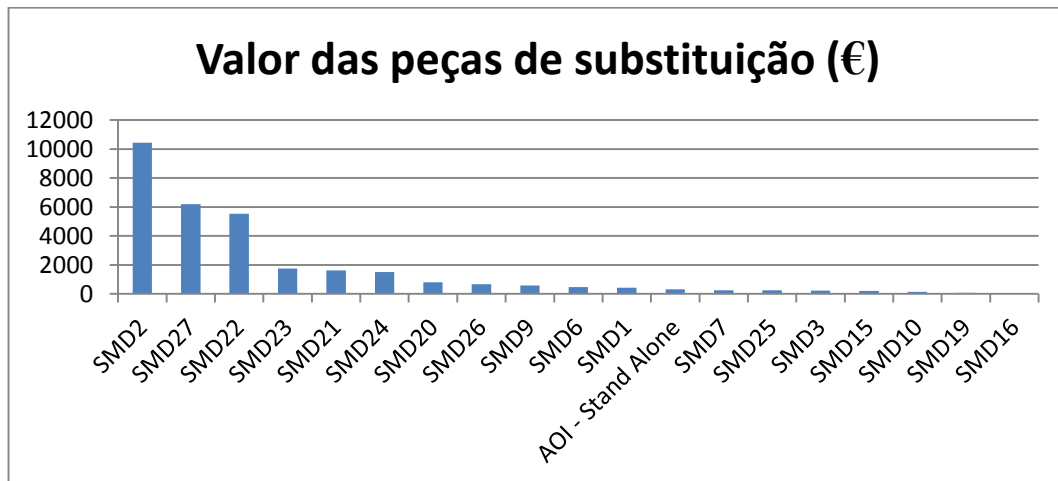


Figura 22- Valor das peças de substituição (€)

#### 4.2.3 Avarias em 2014

Seguidamente analisou-se a distribuição do número de avarias por cada linha (ver Figura 23). Essa análise teve a intenção de diagnosticar uma tendência para paragens inesperadas ou problemas sistemáticos do AOI e que possam ter passado despercebidos tanto na análise de peças consumidas como na de valor monetário. As linhas de produção apresentam mais uma vez performances individuais semelhantes entre elas e que não nos trazem nada de novo até agora. As linhas que se destacaram pela negativa nos pontos anteriores, com explicação prática para tal, desta vez apresentam valores próximos das 400 avarias anuais, o que é um bom registo tendo em conta a média de avarias das máquinas da fábrica.

Também não se verificou uma distribuição anormal de avarias entre turnos (ver Figura 24), o que em princípio descarta um possível desnível de critérios por parte dos operadores de cada turno para o lançamento de avarias.

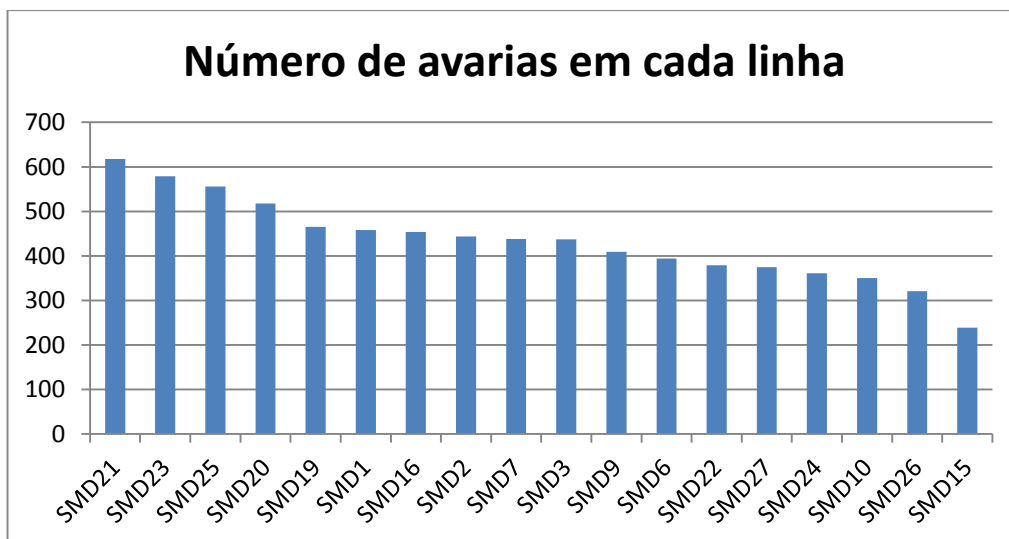


Figura 23- Número de avarias em cada linha

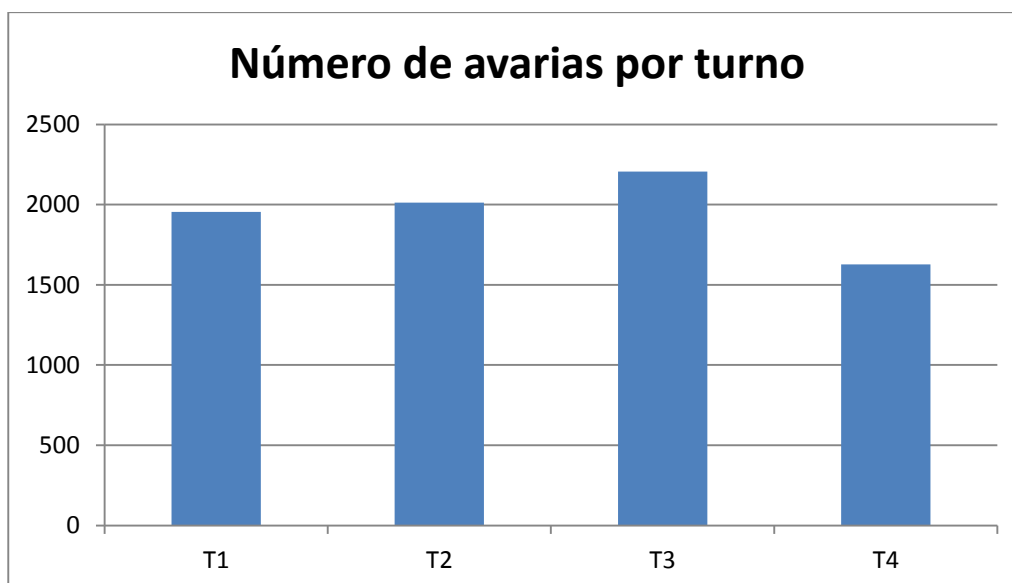


Figura 24- Número de avarias por turno

A empresa recorre a uma aplicação informática, o SIIA, de forma a garantir o máximo de informação recolhida sobre cada avaria. Cada avaria dá origem a várias informações tais como: ID de paragem, código de avaria, linha de produção, turno de início e fim, necessidade intervenção técnica, identificação da máquina, produto atual, identificação do técnico de manutenção e do operador, registo de observações, entre outras informações de carácter temporal como data e hora de início e fim de avaria. No que respeita ao código de avaria tem de haver a distinção entre código de abertura de avaria e código de fecho de avaria. Cada avaria é iniciada pelo operador de linha, que identifica qual o motivo da avaria dentro de um

conjunto de possibilidades atualmente disponíveis e que vão sendo atualizadas conforme a realidade da empresa assim o justifique.

Na Tabela 5 pode-se observar os códigos que despoletam intervenção técnica no processo de inspeção ótica (excluíram-se as que não se relacionavam com o equipamento ou sistema em questão).

Tabela 5- Representação dos códigos de avaria e sua descrição

<b>Códigos de Avaria</b>	<b>Descrição</b>
Código 200	Avaria (produção a decorrer)
Código 78	Avaria (produção interrompida)
Código 84	Arranque 1ª vez na linha (produção interrompida)
Código 82	Falta de programa (produção interrompida)

Sendo que existe uma diferença prática entre eles além da própria descrição do mesmo, todos os códigos apresentados com a exceção do código 200, são considerados como códigos de paragem não planeada e diminuem o tempo disponível para produção e desta forma reduzem a disponibilidade, um dos três componentes que são tidos em conta para o cálculo do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), métrica utilizada para a avaliação do desempenho diário do processo produtivo e está incluída na gama de ferramentas ou métodos do BPS. A análise das avarias por tipo de código permitiu obter os resultados representados na Figura 25.

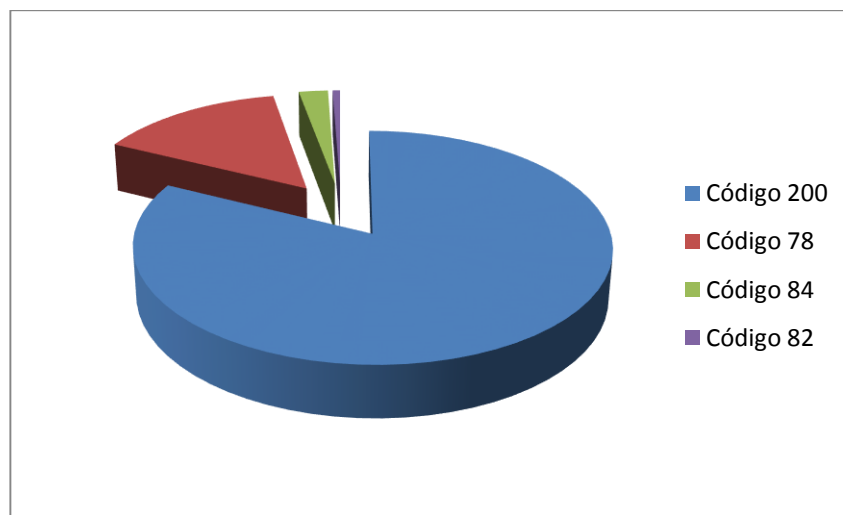


Figura 25- Distribuição das avarias por tipo de código

O que se identifica é uma predominância de avarias que não obrigam à paragem da linha de produção, que por sua vez, está relacionada com a complexidade do sistema de inspeção.

Torna-se frequente a necessidade de intervenção técnica, porque o processo produtivo é complexo e muitas vezes devido à conjugação de vários fatores fazem variar o aspeto físico das soldaduras o que dificulta a tarefa de inspeção das mesmas.

Aprofundando a análise relativa ao sistema de avarias e aos dados que são sistematicamente recolhidos, e tendo como critério chave de seleção a informação de fecho de avaria, foi possível a identificar a seguinte informação de fecho de avaria (ver Tabela 6).

Tabela 6- Informação de fecho de avaria

<b>Informação de fecho de avaria</b>		
<b>Problema (código)</b>	<b>Nº Ocorrências</b>	<b>Descrição</b>
C2	3098	Otimizar programa
C29	481	Reiniciar PC
C36	466	Sem intervenção
C4	339	Fiducial
C5	327	Novo programa
C8	265	BBT
C37	264	Resolvido pelo operador
C38	244	ASC - <i>automatic safety check</i>
C25	212	<i>Hardware</i>
C33	212	Criar/otimizar BBS
C11	189	Reestabelecer ligação de rede / reiniciar máquina
C9	184	Ajuste largura (transportes)
C35	179	Verificação do processo
C6	170	Calibrar imagem REP
C31	161	Reiniciar transportes
C23	141	<i>PCB calibration</i>
C13	138	Inserir barcode / lista mecânica
C1	125	Reiniciar servidor rastreabilidade
C7	87	Calibrar imagem da KY na REP
C3	77	<i>Edge detection</i>
C14	64	Substituição de correia
C30	64	Reiniciar eixos
C15	57	Ajuste <i>scanner</i>
C12	55	Má qualidade do produto
C19	46	Substituição/ajuste sensores
C24	37	Substituição <i>software</i>
C21	34	Ar comprimido
C27	26	Ajuste paralelismo dos transportes
C10	15	Substituição / ajuste amortecedor
C26	10	Libertar espaço em disco
C22	9	Substituição de cabos
C17	8	Limpeza de escala
C16	5	Substituição de motor
C28	4	Problemas com <i>stopper</i>
C18	2	Substituição/programação controlador dos eixos
C20	2	Substituição placa controlo/sinal
C32	1	Reiniciar <i>xml_copier</i>
C34	0	Criar / otimizar programa de <i>placement</i>



Desta forma surge a predominância de um tipo de fecho: Otimizar programa (ver *Figura 26*). Esse fecho surge devido a uma variedade de problemas que se manifestam pelo aumento de pseudoerros ou *slipthrough*.



Figura 26- Distribuição de avarias por categoria de fecho

#### 4.2.4 Categoria de fecho de avaria “Otimizar Programa”

O pseudoerro consiste na indicação de erro num produto que o AOI considerou mau. O *slipthrough* consiste na indicação de um produto bom num produto efetivamente defeituoso. Estatisticamente o risco de rejeição de um produto bom ou o risco de aprovação de um produto defeituoso tem a designação que se pode observar na tabela seguinte (Tabela 7):

Tabela 7- Representação do risco associado ao processo de inspeção

		Resultado da Inspeção			
		V	X		
PCB Conforme		V	X	Pseudoerro	Risco Tipo 1
PCB Defeituoso		X	V	<i>Slipthrough</i>	Risco Tipo 2
		Inspeção Precisa	Inspeção Imprecisa		

No seguimento da inspeção o AOI exporta um relatório de inspeção que é enviado para a REP (*repair station*) onde o operador deve fazer a classificação do PCB em questão. Esse mesmo relatório reporta todos os aspetos que o AOI detete fora das especificações programadas. Em nenhuma altura o sistema de inspeção afirma que o PCB está defeituoso, essa é a tarefa do

operador que faz a sua classificação. O sistema tem a capacidade de fazer a identificação de características problemáticas do produto que vão ser associadas aos pseudoerros (imagens onde são mostrados os locais onde foi detetado algum possível problema). Como o sistema de inspeção não é perfeito existe um risco de falha associado que poderá ser do tipo I ( $\alpha$ ), quando são gerados pseudoerros mesmo quando não existe um defeito no produto que foi inspecionado. No outro extremo poderá não ser reportado nenhum pseudoerro quando o produto apresenta um defeito real, este risco é designado por risco do tipo II ( $\beta$ ). No que respeita às consequências destes dois tipos de risco, estas são bem mais preocupantes com o risco de tipo II. Um problema associado a este risco de falha tem implicações na qualidade final do produto pois não se garante que o processo seguinte faz a deteção de todos os problemas que esta inspeção possa não detetar.

Após a recolha e análise dos dados recolhidos pelo SIIA, ainda permaneceram algumas dúvidas relativamente a uma das causas apontadas pelos técnicos. O fecho de avaria com a causa “Otimizar programa” foi utilizada com uma frequência consideravelmente superior a todas as outras causas, o que levantou as seguintes questões:

- As descrições das avarias serão precisas?
- Existe efetivamente um problema identificado?
- Poderá ser feito o desdobramento para apurar causas diversas para a mesma descrição de avaria?

Com o objetivo de clarificar essa situação foi feito um levantamento de todas as avarias com essa descrição e foram verificados os comentários que cada técnico fez no campo reservado para esse efeito. Após essa verificação foi possível desdobrar essa causa de avaria e refinar os dados recebidos. Segundo a Figura 27 continua a existir uma causa principal para este tipo de avaria, o que leva a pensar que realmente será um ponto pertinente de atuação.

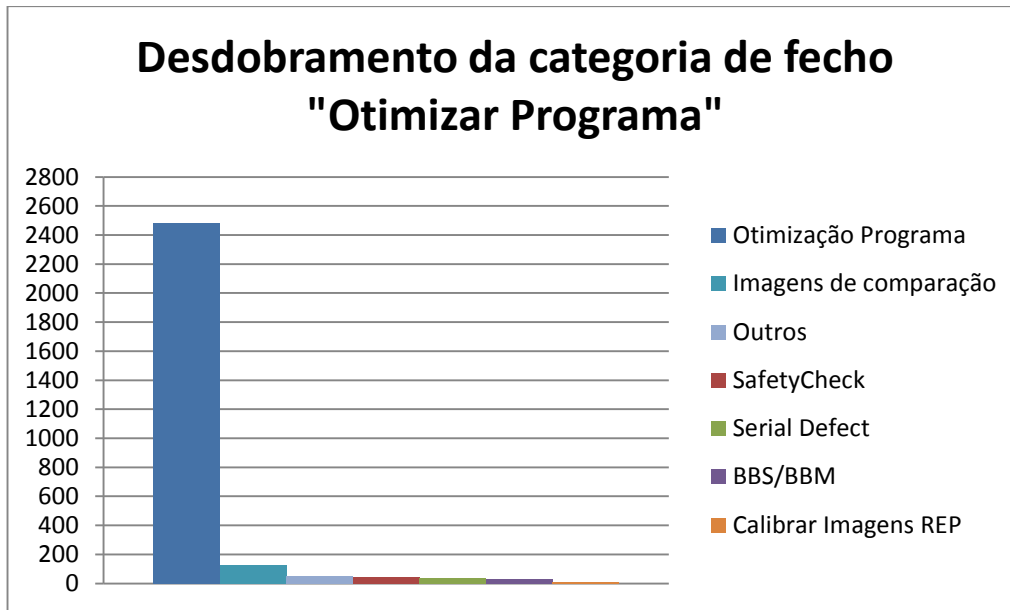


Figura 27- Desdobramento da categoria de fecho "Otimizar programa"

Essa atuação será com o intuito de reduzir a número de avarias, e em consonância contribuir para estabilizar e aumentar a eficiência do mesmo.

#### 4.2.5 Causas de aumento de pseudoerro e *slipthrough*

Para a identificação das variáveis que têm influência no processo foi feito um *brainstorming* com a equipa de programadores responsável pelos equipamentos AOI, o qual permitiu organizar um diagrama de Ishikawa. Este diagrama resulta de um conjunto de atividades chave que em conjunto dão origem a uma ferramenta muito versátil. Esta é iniciada com a aceitação do problema em análise sendo colocada a identificação do mesmo na extremidade da seta horizontal. Logo de seguida são identificadas as categorias que influenciam o processo e dá-se início ao *brainstorming* que gera as causas para o problema em análise. Ferramenta utilizada em contexto real que poderá muitas vezes ser parte de uma ferramenta mais complexa de forma a dar resposta a problemas menos óbvios. Na organização onde se insere este trabalho de investigação é utilizada uma ferramenta designada por "Formulário 8D" que além de outras ferramentas (diagrama de Pareto, histogramas, gráficos de dispersão, fluxogramas) também complementa a análise com recurso ao diagrama de Ishikawa.

Na execução do diagrama (ver Figura 28) foram tomadas algumas opções importantes que levaram à escolha deste diagrama apenas com 4 causas principais ao invés de 6 ou 8 como alguns autores defendem. Essa opção alicerça-se no facto de a empresa em causa possuir medidas de controlo de humidade e temperatura implementadas, além de subcontratar uma

empresa de limpeza que constantemente limpa todo o espaço produtivo, logo, torna-se dispensável a causa principal relacionada com o meio ambiente no qual os equipamentos de teste se inserem e decidiu-se classificar como sendo uma causa menor relacionada com a máquina. A segunda opção está relacionada com a natureza do equipamento e a exclusão da operação humana. Afirmar que o operador tem influência direta no desempenho do AOI é algo que se verificou pouco consistente. O operador tem influência indireta, pois tem a função de identificar comportamentos anormais e pontuais de excesso de pseudoerros ou *slipthrough* que resultem da sua tarefa de classificação.

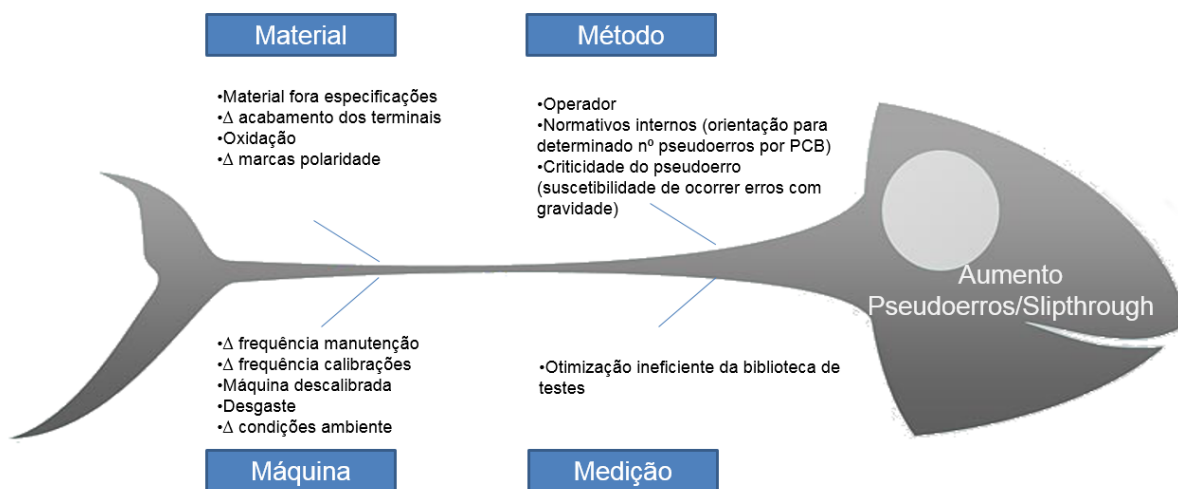


Figura 28- Diagrama de Ishikawa 4Ms

A decisão final de juntar os dois problemas (pseudoerros vs. *sliphthrough*) em análise remete mais uma vez para a complexidade do sistema de inspeção. Se por um lado os programadores lutam diariamente para a deteção máxima possível pelo equipamento, por outro lado não podem negligenciar o bom funcionamento e tentam reduzir os pseudoerros exibidos ao operador que classifica os PCBs. Um número de pseudoerros elevado faz aumentar a fadiga do operador ao classificar o PCB, que por sua vez leva à falta de atenção do mesmo a possíveis problemas reais que possam surgir.

Em forma de analogia, os programadores pesam sempre as alterações que fazem nos equipamentos de forma a atingir um ponto ideal de equilíbrio entre o número de pseudoerros e o poder de inspeção, este relaciona-se com número de defeitos não detetados. Como se pode observar pela evolução deste problema durante os anos de 2012 até 2014, têm sido

desenvolvidos esforços pela equipa de programadores e de especialistas que dão apoio às questões de qualidade associadas (ver Tabela 8).

Tabela 8- Historial dos dados de qualidade (adaptado de Bosch Car Multimédia, 2014)

Ano	Abortado na Viscom	Após processo	Mal classificado	Mal encaminhado	Não detetado	Não detetável	Sem cruzamento	Sem rastreabilidade	Sem registo AOI	TOTAL Anual	Pseudo-Erros	Total PCB's Inspeccionados
2008	121	2729	2093	217	1251	376	152	5966	369	13395	-	-
2009	119	2075	2956	225	1445	386	284	7164	591	15309	-	-
2010	212	2057	4351	396	2640	673	294	10965	2203	23988	-	-
2011	55	2176	2841	284	3492	409	133	8655	2047	20092	6500	-
2012	28	1803	1617	166	2274	422	731	6087	872	14000	5046,25	12532313
2013	13	1004	1029	142	768	258	791	4314	752	9071	3420,583333	10826320
2014	13	1256	1535	43	747	361	326	1855	137	6273	2835,666667	15356992

A evolução dos processos internos da empresa e as ações que vão sendo implementadas ao longo dos anos contribuem para a melhoria contínua do processo. Essas ações visam combater ou eliminar problemas tais como a falta de rastreabilidade ou perda de informação de cruzamento no processo produtivo, mau encaminhamento de produtos, classificação ineficiente por parte dos operadores assim como danos causados ao produto por tarefas de transporte. Essas ações têm vindo a ser implementadas pela organização pelo que não é expectável haver intervenção resultante deste trabalho de investigação. Nesse sentido ignoraram-se os dados relativos a defeitos que mesmo sendo do processo, encontram-se a ser mitigados e concentrou-se a atenção no grupo seguinte:

- Pseudoerros
- Não detetados
- Não detetáveis

#### 4.2.6 Causas de *Slipthrough*

Ao focar atenção neste grupo reduzido de problemas surge a questão se existe a exclusão de outros defeitos importantes para o processo. O Diagrama de Pareto é amplamente utilizado

quando existem vários prolemas a acontecerem e existe a necessidade de fazer uma priorização dos mesmos tendo em conta uma característica principal. É recorrente existir a priorização dos problemas pela frequência de aparecimento ou mesmo pelo custo que cada problema acarreta à organização, uma vez que poderão ocorrer poucos problemas de um determinado tipo ou categoria, mas que, pela sua natureza são aqueles que causam mais prejuízo. Esta ferramenta tem como principal vantagem, conseguir fazer a distinção dos 20% dos problemas que causam 80% de todos os desvios de qualidade.

Após a realização de uma análise de Pareto (ver Figura 29 ) conclui-se que os defeitos que foram excluídos da análise ocorrem com uma frequência que não justifica a utilização de recursos na sua análise, pelo menos a este nível de desempenho de qualidade. Após a resolução dos problemas mais significativos é natural que a organização decida explorar as causas menos frequentes.

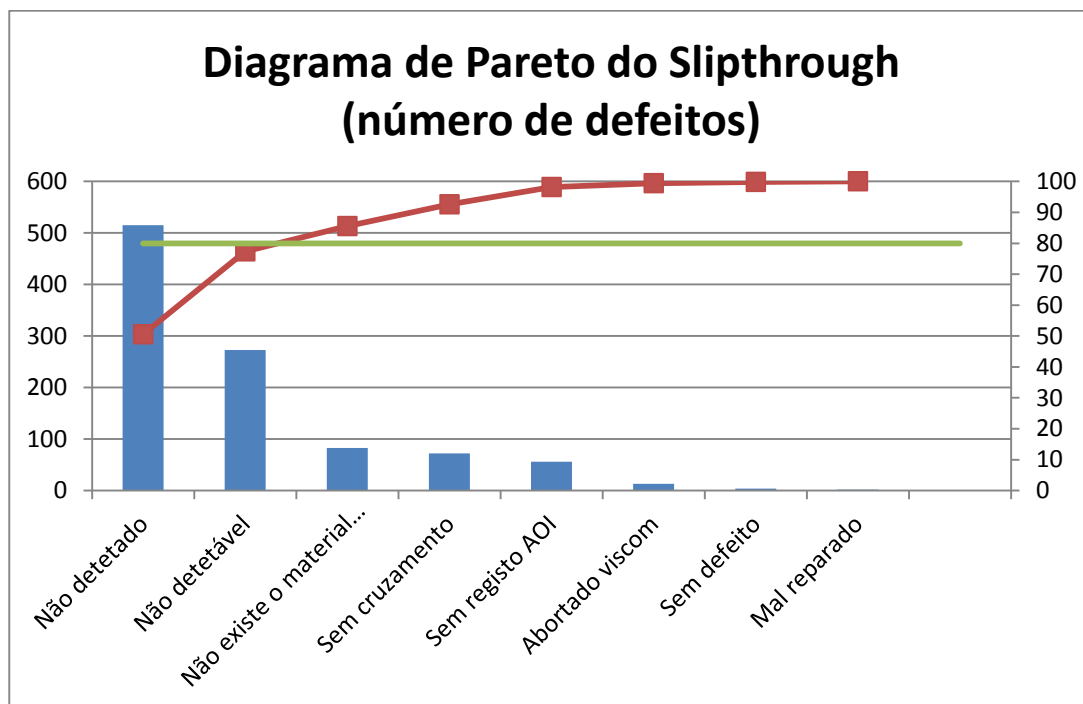


Figura 29- Diagrama de Pareto do *Slipthrough*

Historicamente a organização tem vindo a desenvolver melhorias de processo significativas, como se pode analisar na evolução de pseudoerros e de defeitos (não detetados e não detetáveis) (ver Figura 30).

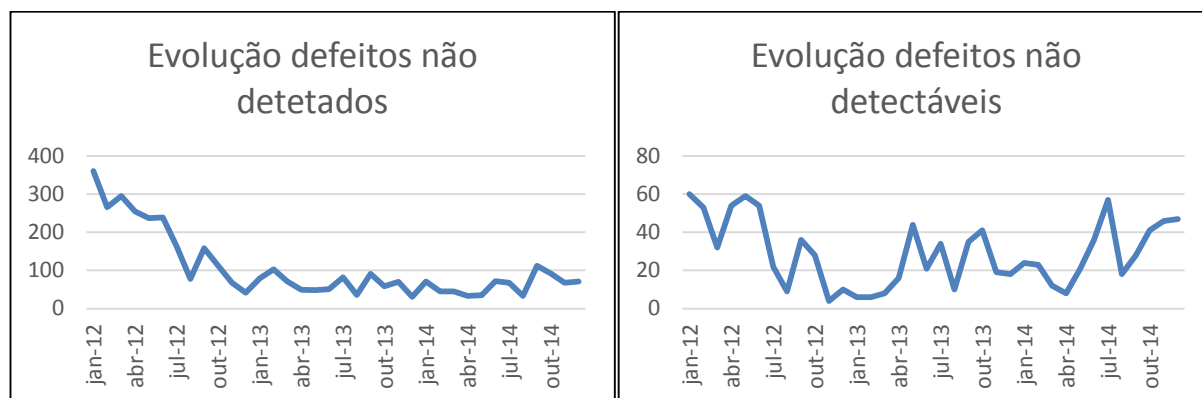


Figura 30- Evolução de pseudoerros e defeitos (não detetados e não detectáveis)

As melhorias traduzem-se numa tendência evolutiva positiva, ou seja, os indicadores de qualidade que estão expressos têm vindo a evoluir no sentido de menor=melhor mesmo tendo em conta que o volume de produção tem vindo a registar um decréscimo ligeiro, como se facilmente se verifica na Figura 31.

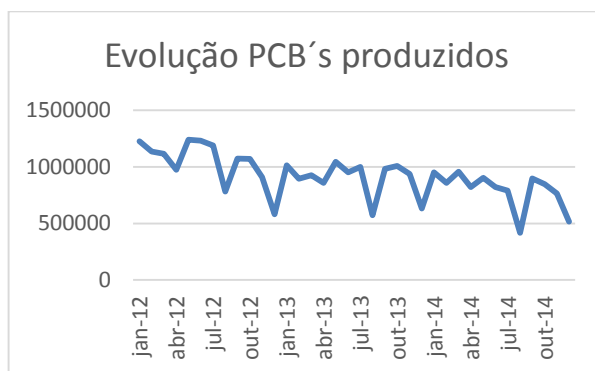


Figura 31- Evolução no nº de PCB's produzidos

### 4.3 Propostas de Melhoria

Finalmente, após a análise dos dados que foram possíveis trabalhar, surgem propostas de melhoria. Essas assentam fundamentalmente na análise interna de qualidade de produto, do sistema de informação de avarias (SIIA) e dos dados de manutenção recolhidos ao longo do ano de 2014. As principais propostas são de seguida resumidas:

- Pode-se criar um *software* que ajude no controlo e avaliação da performance do processo de inspeção ótica.
- Existe margem de melhoria do processo de inspeção.
- O processo de manutenção dos equipamentos poderia beneficiar de um maior acompanhamento das características e da periodicidade das tarefas.
- Seria uma boa prática a introdução de manutenção preditiva, visto que as grandezas associadas aos equipamentos são passíveis de serem registadas e monitorizadas.
- A equipa de programadores demonstrou interesse numa ferramenta de consulta à “Base de Dados” de forma a servir de auxílio à tomada de decisão, no que respeita à otimização da biblioteca de testes.

De seguida apresentam-se sugestões de medidas a implementar.

#### 4.3.1 Aplicação Informática: AOI Performance Meter

Aplicação de avaliação do desempenho do processo de inspeção, registo de intervenções na biblioteca de testes e também de auxílio ao programador. Seria uma oportunidade de melhoria a criação de uma aplicação de suporte e avaliação de desempenho do processo de inspeção ótica. O AOI Performance Meter, deverá ter a capacidade de registo dos acontecimentos seguintes:

- Alterações à biblioteca de testes
- Acontecimentos importantes que influenciem as condições de trabalho
- Intervenções tanto preventivas como de melhoria
- Calibrações
- Avarias que comprometam condições de funcionamento/calibração do equipamento



- Pedidos de antecipação de calibrações

E como forma de auxílio à equipa de programadores, seria um fator positivo ter acesso a dados sobre *slipthrough*, taxas de pseudoerros, *status* de calibração, componentes de risco e performance da linha num interface sempre presente em cada AOI. Desta forma além de ser possível medir o desempenho do processo, podem ser detetadas tendências de mau funcionamento ou problemas esporádicos que passem despercebidos.

#### 4.3.2 Manutenção avançada

Propõe-se a realização de uma análise criteriosa dos componentes danificados para avaliação dos procedimentos e tempos estimados de substituição. Seria uma boa prática a formação de uma equipa multidisciplinar, que reunindo o *know-how* nas diversas áreas com influência no processo, discutissem o estado dos componentes substituídos recentemente, os métodos de substituição e as recomendações técnicas dos fabricantes. Desta forma seria criada uma metodologia de análise e verificação que tivesse como output o aumento da confiança nos equipamentos e procura pela melhoria contínua. Essa espiral de melhoria seria alimentada por:

- Acerto dos tempos de substituição estimados e calendarização das intervenções
- Criação de procedimentos escritos, que documentem a forma mais eficiente de realizar as intervenções técnicas
- Seguimento próximo do estado de conservação dos equipamentos
- Procura de fornecedores alternativos, que forneçam componentes com padrões de qualidade mais elevados e preços competitivos
- Atuar como interface entre o departamento de compras e técnico
- Detetar componentes cuja estimativa do fornecedor não seja próxima do desempenho real medido, e desta forma corrigirem desvios no componente ou possíveis problemas do equipamento onde este se insere

#### 4.3.3 Manutenção preditiva

Criar fisicamente meios que permitam a medição em tempo real de grandezas que influenciam o desempenho do sistema:

- Corrente dos motores: A medição do consumo energético dos motores (I), uma alteração significativa do consumo energético de um motor é muitas vezes associado a problemas tais como desgaste no motor, de componentes mecânicos circundantes ou outro tipo de problemas mais significativos como prisões e bloqueios físicos.
- Ar comprimido: O consumo de ar comprimido além de ser um fator importante a ter em conta na fatura energética de cada empresa, acarreta outras complicações associadas com a degradação do estado dos circuitos pneumáticos do equipamento tais como ineficiência dos movimentos pneumáticos.
- Temperatura de componentes sensíveis: A monitorização constante dos componentes mais sensíveis do equipamento, tais como controladores dos eixos, câmaras e seu *mutiplexer*, garante que estão reunidas as condições mínimas de bom funcionamento no que às variações térmicas dizem respeito.
- Força exercida pelos *clamps* (mecanismo de fixação dos PCB's): existem limites e especificações internas que regulamentam a força exercida pelos mecanismos de fixação nos PCB's. Esta força deverá estar compreendida entre dois limites com implicações distintas no caso de ser ultrapassado cada um dos limites. No caso do limite inferior poderá originar uma fixação ineficiente do PCB a inspecionar, no outro extremo, poderá ser infligida deformação no PCB que resulta em *stress* mecânico para todo o conjunto.
- Vibração do chassis da máquina: O equipamento em questão tem partes móveis que executam movimentos rápidos e com acelerações elevadas, como tal, é uma boa prática fazer o controlo da vibração do chassis da máquina de forma a não por em causa a sua calibração, e não ser infligida degradação precoce tanto nos componentes móveis como estacionários.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo melhorar o sistema de inspeção ótica instalado no processo produtivo da Bosch Car Multimédia S.A. situada na cidade de Braga. Esse sistema é de reconhecida importância pois a qualidade do produto depende da eficiência do mesmo. O AOI tem a função de fazer a deteção visual de problemas resultantes do processo produtivo (SMT), que comprometam o bom funcionamento do produto ou a conformidade com os requisitos de qualidade estabelecidos.

Em termos estruturais este projeto desenvolveu-se em duas fases distintas. Na primeira fase foi feita uma análise do sistema associado ao AOI e foi delimitado o âmbito do trabalho. Foi estudada a situação inicial, onde foram detetadas algumas falhas ao nível organizacional com falta de registos de alterações tanto na biblioteca de testes como de intervenções que podem influenciar a calibração do AOI. Com essa ausência de informação identificaram-se outras situações passíveis de serem melhoradas como a centralização e disponibilização para consulta (através de acesso remoto) dos certificados de calibração dos AOIs, para que os programadores possam conhecer o historial recente de cada equipamento. De seguida foram analisados os dados de qualidade do processo com várias fontes de informação, o que permitiu consolidar algumas hipóteses e deixar cair outras por inconsistência.

Na segunda fase são identificadas causas de problemas associados ao sistema AOI e são planeadas soluções para a sua melhoria. Foram definidas medidas de melhoria para o processo produtivo e mais especificamente para o equipamento de teste AOI, das quais se destaca a aplicação de medição de desempenho AOI Performance Meter, e as medidas de manutenção preditiva, que devem ser as prioritárias na implementação de melhorias no AOI.

Espera-se que o AOI Performance Meter e a sua implementação contribua para a identificação de problemas que até então tenham passado despercebidos. A aplicação tem duas perspetivas associadas, sendo a primeira mais estratégica e de auxílio a uma decisão mais holística pelos responsáveis do processo. Desta forma existe acesso a informação sempre atualizada, sobre vários aspetos pertinentes dos equipamentos e sobre as medidas de suporte que vão sendo implementadas ou revistas. Existe também a concretização de uma necessidade de registo do desempenho da inspeção ao longo do tempo que se materializa na sua evolução documentada. A segunda perspetiva desta aplicação prende-se mais com aspetos operacionais e de suporte à equipa de programadores. Os traços gerais da aplicação pressupõem a disponibilização das informações que os programadores identificaram como necessárias para

a correta análise dos problemas de cada equipamento. Sendo assim os programadores vão otimizar a biblioteca de testes, com o conhecimento dos problemas que têm acontecido no processo ou apenas no componente que estão a analisar. Vão ter uma intervenção mais crítica e ponderada, melhorando o desempenho imediato do AOI sem o aumento do risco de não deteção de problemas reais (risco tipo II ou  $\beta$ ).

A par da medida anterior foi sugerida a adoção de técnicas de manutenção preditiva. Estas técnicas são, hoje em dia, utilizadas em situações nas quais a especificidade dos equipamentos ou a necessidade de uma alta fiabilidade assim o justifique. São medidas que pressupõem a instalação de pequenos dispositivos encarregues de fazer a medição das grandezas físicas mais importantes, ou aquelas que sinalizam desvios de funcionamento do AOI. Essa sugestão não está ausente de custos, e numa fase inicial será de interpretação algo controversa pois o estabelecimento de limites (limites de controlo) é complicado pois os equipamentos não estão num estado de manutenção igual a novo e apresentam alguma fadiga originada pelos anos de operação. Ponderando os aspetos positivos e negativos, é esperada uma previsibilidade e fiabilidade crescentes, fato que vem propiciar a melhoria do desempenho do sistema de inspeção e influência também os tempos de paragem do mesmo, aumentando desta forma a disponibilidade do equipamento para produzir.

Resumidamente estas ações de melhoria atuam sobre o desempenho do equipamento nas várias vertentes do mesmo. Pretende-se reduzir: a ineficiência do AOI, aumentar a cobertura dos testes efetuados, otimizar a biblioteca de testes, servir de apoio à decisão para gestão de alto nível. Assim sendo, é possível que a gestão do processo faça o cruzamento dos indicadores do processo (taxa de pseudoerros, slipthrough, MTBF, MTTR) com ações que são tomadas e podendo aferir a eficácia das mesmas.

Por último melhorar as tarefas de manutenção, sejam elas de natureza corretiva, preventiva ou preditiva de modo a facilitar o registo e agendamento das intervenções.

O presente trabalho remete a fase de implementação das soluções propostas para trabalho futuro, devido a fatores que condicionaram o desenvolvimento do projeto e ditaram a não aplicação prática do mesmo. Tais fatores relacionam-se com a calendarização exigente do projeto (1 ano letivo), demora de resposta aos pedidos de assistência por parte da empresa que fornece os equipamentos, assim como indisponibilidade de recursos humanos na Bosch para materializar as soluções propostas a curto prazo. Contudo o projeto foi capaz de identificar

pontos passíveis de intervenção e propor soluções detalhadas e métodos para a melhoria do sistema estudado.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bebbington, M., Lai, C.-D., & Ricardas, Z. (2007). A flexible Weibull extension. *Reliability Engineering & System Safety*, 92(6), 719-726.
- Benbasat, I., Goldstein, D. K., & Mead, M. (1987). The case Research Strategy in Studies of Information Systems. *MIS Quarterly*, 369-386.
- Bosch Car Multimedia. (2014). Bosch Intranet.
- Campos, J. (2009). Development in the application of ICT in condition monitoring and maintenance. *Computers in Industry*, 1-20.
- Han, Y., & Song, Y. H. (2003). Condition monitoring techniques for electrical equipment: A literature survey. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 4-13.
- Hang, Z., & Li, D. (2014). Applications of computer vision techniques to cotton foreign matter inspection: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 59-70.
- ISO, (2008). NP EN ISO 9001 Sistemas de gestão da qualidade - requisitos.
- Jardine, A. K., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 1483-1510.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (2000). *Juran's Quality Handbook: (5th ed.)*.
- Kaplan, R., & Norton, D. (1996). *The Balanced Scorecard. Translating Strategy into Action. Boston: Harvard Business School Press.*
- Kim, J. H., Cho, H. S., & Kim, S. (1996). Pattern classification of solder joints images using a correlation neural network. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 655-669.
- Kopardekar, P., Mital, A., & Anand, S. (1993). Manual, hybrid and automated inspection literature and current research. *Integrated Manufacturing Systems* 4, 18-29.
- Kuo-Liang, L., & Jhih-Long, F. (2013). Applications of computer vision on tile alignment inspection. *Automation in Construction*, 562-567.
- Mar, N. S., Yarlagadda, P., & Fookes, C. (2011). Design and development of automatic visual inspection systems for PCB manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27, 949-962.

- Mital, A., Govindaraju, M., & Subramani, B. (1998). A comparison between manual and hybrid methods in parts inspection. *Integrated Manufacturing Systems* 9, 344–349.
- Moya, M. C. (2004). The control of the setting up of a predictive maintenance programme using a system of indicators. *Omega*, 57-75.
- Newman, T. S., & Jain, A. K. (1995). A system of automated visual inspection. *Computer Vision and Image Understanding*, 61 (2), 231-262.
- Ohno, T. (1988). Toyota production system: beyond large-scale. *New York: Productivity Press*.
- Ong, T. Y., Samad, Z., & Ratnam, M. M. (2008). Solder joint inspection with multi-angle imaging and an artificial network. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 455-462.
- Pham, H., & Wang, H. (1996). Imperfect maintenance. *European Journal of Operational Research*, 425-438.
- Shahrul, K., & Ahmad, R. (2012). An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Computers & Industrial Engineering*, 63, 135-149.
- Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*.
- Viscom, G. (2007a). Formation Maintenance 6055-II.
- Viscom, G. (2007b). Maintenance S6056.
- Woodruff, R. B. (1997). Customer Value: The Next Source for Competitive Advantage. *Journal Of The Academy Of Marketing Science*.
- Zeithaml, V. A. (1988). Consumer Perceptions of Price, Quality, and Value: A Means-End Model and Synthesis of Evidence. *Journal of Marketing*.
- Zhang, J. B. (1996). Computer - aided visual inspection for integrated quality control. *Computers in Industry* 30, 185-192.