

**MESTRADO EM**  
**CIÊNCIAS EMPRESARIAIS**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

**TRABALHO DE PROJETO**

ANÁLISE DA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO NUM PROCESSO  
REAL ATRAVÉS DA METODOLOGIA *SIX SIGMA*

HUGO MIGUEL MARQUES ROSADO

JÚRI:

PRESIDENTE: PROFESSORA DOUTORA CARLA MARIA  
MARQUES CURADO, PROFESSORA ASSOCIADA DO ISEG,  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

VOGAIS:

DOUTORA FERNANDA MARIA DE ALMEIDA SANTOS MENDES,  
SANOFI - PRODUTOS FARMACÊUTICOS, LDA.

PROFESSOR DOUTOR JOSÉ MIGUEL ARAGÃO CELESTINO  
SOARES, PROFESSOR AUXILIAR DO ISEG, UNIVERSIDADE  
DE LISBOA

DEZEMBRO – 2017

**MESTRADO EM**  
**CIÊNCIAS EMPRESARIAIS**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
**TRABALHO DE PROJETO**

ANÁLISE DA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO NUM PROCESSO  
REAL ATRAVÉS DA METODOLOGIA *SIX SIGMA*

HUGO MIGUEL MARQUES ROSADO

**ORIENTAÇÃO:**

PROFESSOR DOUTOR JOSÉ MIGUEL ARAGÃO CELESTINO SOARES

DEZEMBRO – 2017

## RESUMO

No presente trabalho são analisados os possíveis factores que geram sucata na formação de jogos de placas na linha de montagem durante o processo produtivo de baterias, tendo por base dados reais de uma empresa do respectivo sector. A redução de sucata é um dos principais objectivos da empresa, desta forma os processos tornar-se-ão mais eficientes e os recursos dedicados a tarefas que gerem valor acrescentado e não a atividades de retrabalho.

A empresa ABC aposta na melhoria contínua dos seus processos, sendo o *Six-Sigma* uma realidade como modelo de estratégia, e a metodologia usada nos projetos o DMAIC (*Define* – Definir; *Measure* – Medir; *Analyse* – Analise; *Improve* – Melhorar; *Control* – Controlar). Em todas fábricas do grupo existem equipas dedicadas ao desenvolvimentos de projetos *Six-Sigma* com o intuito de reduzir atividades que gerem desperdício. Estas equipas são lideradas por um *Black Belt* dedicado a 100% à Melhoria Contínua, e um conjunto de *Green Belts* que dedicam 20% do seu tempo ao desenvolvimento dos seus próprios projetos e a projetos conjuntos. Como suporte a todas equipas do grupo existe um *Master Black Belt* responsável por todas as atividades realizadas em todas as fábricas do grupo.

A revisão de literatura foi efectuada tendo por base o impacto das metodologias *Six-Sigma* em processos produtivos e o controlo dos mesmos na gestão da qualidade. Na revisão de literatura foi igualmente feita a descrição da metodologia bem como o próprio conceito.

As conclusões do projeto de redução de sucata no processo produtivo de armar jogos de placas, levam a que se possa responder afirmativamente à questão chave deste trabalho:

Será que alterações no processo e/ou máquinas na linha de montagem de baterias são estatisticamente relevantes na redução de sucata?

Palavras-chave: *Six-Sigma*, DMAIC, Melhoria Continua, baterias, redução de desperdício

## ABSTRACT

In the present work the possible factors that generate scrap in the formation of set of plates in the assembly line during the productive process of batteries are analyzed, based on real data of a company of the respective sector. Scrap reduction is one of the company's primary goals, so processes will become more efficient and resources dedicated to tasks that add value rather than reworking activities.

The company ABC is committed to the continuous improvement of its processes, and *Six Sigma* is a reality as a strategy model and the methodology used is the DMAIC (Define - Measure, Analyze, Improve, Control). In all plants of the group there are teams dedicated to the development of *Six Sigma* projects in order to reduce activities that generate waste. These teams are led by a Black Belt dedicated to 100% Continuous Improvement and a team of Green Belts that devote 20% of their time developing their own projects and joint projects. As support to all teams in the group there is a Master Black Belt responsible for all the activities carried out in all the plants of the group.

The literature review was based on the impact of *Six Sigma* methodologies on production processes and their control in quality management. In the literature review, a description of the methodology as well as the concept itself was also made.

The conclusions of the scrap reduction project in the production process of putting together set of plates, lead to an affirmative answer to the key issue of this work:

Will changes in the process and/or machines in the battery assembly line be statistically relevant in scrap reduction?

Keywords: *Six Sigma*, DMAIC, Continuous Improvement, Batteries, Waste Reduction

## ÍNDICE

---

RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÍNDICE .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
GLOSSÁRIO DE TERMOS .....	x
AGRADECIMENTOS .....	xi
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICAÇÃO .....	1
1.1. Objectivo do projeto .....	1
1.2. Breve história da empresa .....	2
1.3. Missão, Visão e Valores .....	2
1.4. Restrições à publicação .....	3
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	4
2.1. Conceito de qualidade .....	4
2.2. Da qualidade ao <i>Six Sigma</i> .....	5
2.3. Gestão da Qualidade Total .....	7
2.4. Técnicas e ferramentas da qualidade .....	7
2.4.1. Digramas causa e efeito .....	8
2.4.2. Gráficos boxplot .....	8
2.4.3. Gráficos temporais .....	8
2.4.4. 5 Porquês .....	9
2.4.5. Tetes de hipóteses .....	9
2.4.6. Gráficos de Pareto .....	9
2.4.7. Poka-Yoke .....	10

---

2.4.8. Análise de Sistemas de Medição (MSA) .....	10
2.4.9. Gráficos de controlo .....	10
2.4.10. Minitab .....	11
2.5. <i>Six Sigma</i> .....	11
2.5.1. O que é o <i>Six Sigma</i> .....	11
2.5.2. Relação entre Lean e <i>Six-Sigma</i> .....	13
2.5.3. Que organizações podem e devem usá-lo .....	14
2.5.4. Quando e por quem o método foi desenvolvido.....	15
2.5.5. Quais as maiores vantagens.....	15
2.5.6. Quais as desvantagens .....	17
3. METODOLOGIA .....	18
3.1. A metodologia DMAIC .....	18
3.2. Pergunta de investigação .....	21
4. ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS .....	22
4.1. Definir (Define) .....	22
4.2. Medir (Measure) .....	24
4.3. Analisar (Analyse) .....	27
4.4. Melhorar (Improve) .....	31
4.5. Controlar (Control) .....	35
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	36
5.1. Conclusões .....	36
5.2. Aspectos a melhorar .....	37
5.3. Limitações .....	37
5.4. Recomendações .....	38
5.5. Nota final .....	38

---

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
ANEXOS.....	42
Anexo 1 – Prova de causa #1.....	42
Anexo 2 – Prova de causa #2.....	43
Anexo 3 – Prova de causa #3.....	44
Anexo 4 – Prova de causa #4.....	45
Anexo 5 – Prova de ação #1 .....	46
Anexo 6 – Prova de ação #3 .....	47
Anexo 7 – Melhoria By1 .....	48
Anexo 8 – Melhoria By2 .....	49
Anexo 9 – Melhoria Cy1 .....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha temporal de métodos de gestão.....	6
Figura 2 – Linha temporal de métodos estatísticos .....	6
Figura 5 - DMAIC.....	19
Figura 6 - Processo de armar jogos dentro da bateria .....	22
Figura 7 – Pareto tipo de defeito .....	24
Figura 8 – P Chart Placa dobrada e fora de especificação .....	25
Figura 9 – P Chart Jogos em baterias .....	25
Figura 10 – Teste de hipóteses quantidade vs turno.....	26
Figura 11 – Gráfico de controlo placa dobrada e fora de especificação .....	27
Figura 12 – Gráfico de concentração e pareto.....	27
Figura 13 – Diagrama causa/efeito.....	28
Figura 14 – P Chart de defeitos antes e depois .....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela I – Plano de Verificação de Causas ..... 29

Tabela II – Plano de Verificação de Causas..... 30

Tabela III – Plano de ações ..... 32

Tabela IV – Plano de Controlo..... 35

GLOSSÁRIO DE TERMOS

ANOVA	<i>Analysis Of Variance</i>
COPQ	Custo De Má Qualidade
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i>
DOE	<i>Design Of Experiments</i>
DPMO	Defeitos Por Milhão De Oportunidades
GE	<i>General Electric</i>
GM	<i>General Motors</i>
I&D	Investigação E Desenvolvimento
IPO	<i>Input Process Output</i>
MSA	Análise De Sistemas De Medição
SOW	<i>Statement Of Work</i>
SPC	<i>Statistical Process Control</i>
SSA	<i>Six Sigma Academy</i>
TQM	<i>Total Quality Managment</i>

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor José Miguel Soares, pela sua disponibilidade e colaboração na realização deste trabalho.

Em segundo lugar aos meus pais, que com muita paciência me aturam há muitos anos e que sempre me incentivaram na senda da aquisição de novos e diversificados conhecimentos.

Ao José Luís Val, por todo o suporte que me deu enquanto *Master Black Belt* durante a fase de projeto e pelos conhecimentos que me transmitiu na formação de *Black Belt... muchas gracias*.

À equipa da empresa ABC que comigo trabalhou na procura das melhores soluções para tornar a redução de sucata uma realidade.

Agradeço igualmente, aos meus colegas de grupo da Pós Graduação e do Mestrado pela troca de ideias e pelos bons momentos passados naquelas noites de trabalhos em que só por muita persistência e determinação nos mantinha-mos despertos.

Aos meus *buddies* do surf, que por mim tiveram que esperar por ter ficado a dormir depois de uma noite a surfar nas ondas deste trabalho.

A todos os que de alguma forma colaboraram na possibilidade de tornar real este trabalho e que me transmitiram toda a sua confiança.

Por ultimo, um muito especial e sentido agradecimento, à pessoa que no meu aniversário me ofereceu dois cadernos pautados e me desejou boa sorte quando estava prestes a iniciar o regresso aos bancos universitários. Indiretamente, teve o dom de me manter focado no meu objectivo... a ti Catarina.

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICAÇÃO

### *1.1. Objectivo do projeto*

O objectivo do projeto é reduzir a sucata durante o processo de armar jogos de placas para baterias, através da eliminação de atividades que gerem desperdício e alterações/melhorias de maquinaria envolvida no processo, na empresa ABC (por razões de confidencialidade é omitido o nome da empresa onde o projeto foi desenvolvido). Ao reduzir a sucata, reduzirá o tempo de ciclo da máquina, reduzirá os custos com sucata, aumentando o volume de unidades produzidas e a disponibilidade da máquina, sendo igualmente reduzido o impacto ambiental. Alhuraish, Robledo e Kobi (2017) argumentam que organizações modernas assimilam a qualidade com a responsabilidade operacional do negócio em termos sociais e ambientais, que inclui respeitar e proteger o meio ambiente.

Tendo sido definido o *Six Sigma* como modelo de estratégia de gestão, o objectivo do projeto passa por identificar através da metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*), todas as etapas do processo de armar jogos de placas, reduzindo a sucata gerada. Para além disso o projeto pretende identificar falhas no processo e no plano de controlo, bem como na manutenção de maquinaria e identificação correta de defeitos de produto e sua origem, criando assim uma oportunidade de melhoria não só do processo em estudo, mas também nos processos *pull* a ele associado (relação fornecedor-cliente). A redução de sucata irá ser traduzida em *savings*, no tempo de ciclo da máquina, e em volume de produção, aumentando assim a produtividade e eficiência, permitindo igualmente uma maior satisfação dos colaboradores envolvidos diretamente no processo.

Ao nível de implicações no negócio é pretendido que o projeto traga melhorias na correta identificação de defeitos, reduzindo o desperdício por envio de placas ok para sucata, com impacto direto nos custos de sucata, sendo esta a principal iniciativa do *Lean Thinking*, maximizar o valor para o cliente eliminando o desperdício (Orbak, 2012). Pretende-se

também adquirir um maior controlo da sucata gerada, através da identificação dos principais pontos geradores da relação fornecedor-cliente, por forma a alocá-la ao correto centro de custo, e da sua correta pesagem. De acordo com Castro (2012), o *Six Sigma* atua na eficácia dos produtos, serviços e processos. E a eficácia tem que ver com o fazer as coisas certas – fornecer essas características de um produto ou serviço que o cliente quer – e fazer certo as coisas – fornecer essas mesmas características sem erros ou falhas. A eficácia garante a entrega do produto ou serviço nos moldes que o cliente deseja e espera, sem defeitos. No mundo atual, onde a competição na indústria atingiu o seu pico, para sobreviver neste tipo de ambiente as organizações devem implementar melhores práticas, e a forma de o fazer é melhorar a qualidade de produtos reformulando os seus processos (Orbak, 2012).

Tendo como premissa a redução do defeito, o projeto terá como objectivo responder à seguinte pergunta de pesquisa:

- Será que alterações no processo e/ou máquinas na linha de montagem de baterias são estatisticamente relevantes na redução de sucata?

### *1.2. Breve história da empresa*

A empresa em estudo pertence a um grupo multinacional centenário com produtos e serviços de armazenamento de energia. Possui experiência e meios avançados de desenvolvimento e investigação em todo o tipo de soluções relacionadas com o armazenamento de energia.

### *1.3. Missão, Visão e Valores*

A organização tem como missão ser reconhecida mundialmente como líder em soluções de energia eléctrica e tecnologias inovadoras, bem como pelos excelentes produtos e serviços através de marketing criativo, design inovador, engenharia soberba, produção e qualidade de classe mundial. Para tal aposta em atrair, reter e desenvolver as pessoas certas, que serão

responsáveis pela melhoria contínua tendo como valores estratégicos a integridade, o respeito e o trabalho de equipa, a inovação, a aprendizagem contínua e o orgulho na excelência.

#### *1.4. Restrições à publicação*

Os dados da empresa são confidenciais, sendo o nome da empresa em estudo designada por ABC. Os valores numéricos apresentados são reais, não tendo sido alterados por forma a permitir que a análise aplicada fosse a de um caso real, e que o desenvolvimento do projeto fosse compreensível do ponto de vista de aplicabilidade da metodologia DMAIC.

Este trabalho está dividido em 5 capítulos. O primeiro é esta Introdução, o segundo é a Revisão de Literatura, no terceiro capítulo será apresentada a Metodologia utilizada, o quarto capítulo terá como objetivo apresentar e analisar os resultados obtidos, e o capítulo final será o dos Conclusões e Recomendações.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. *Conceito de Qualidade*

Nos dias de hoje, de acordo com Jevgeni, Eduard e Roman (2015), a satisfação dos clientes é bastante importante para o sucesso do negócio, uma vez que um elevado nível de satisfação leva a um elevado nível de fidelização dos clientes, e conseqüentemente à criação de uma alta probabilidade de repetição de compra e receita financeira para a organização.

Para definir o conceito de qualidade é necessário analisar diversos autores e suas definições uma vez que o consenso à volta da sua definição não é unânime. Para Juran, dos muitos conceitos de qualidade, dois têm uma importância crítica na gestão da qualidade, requisitos de produto que possam ir ao encontro das necessidades e satisfações dos clientes e requisitos de zero defeitos que originem retrabalho, falhas de produção e reclamações de clientes. Para muitos autores a definição de qualidade “conforme as especificações” é comumente usada, no entanto, segundo Juran esta aceitação de definição pode ser um sério risco uma vez que as necessidades dos clientes vão para além das especificações do produto tais como, explicação do serviço em linguagem simples, confidencialidade, simplicidade de aquisição (Juran & Godfrey, 1999). Simanová (2015) afirma que a qualidade de produtos e serviços é determinada pela satisfação dos clientes e pelos resultados da eficiência e eficácia dos processos que os criam e suportam. A nova tendência de foco no cliente levou a que os departamentos de qualidade fizessem uma revisão à sua definição de qualidade, por forma a incluir as necessidades dos clientes que não faziam parte da especificação do produto.

Para uma gestão da qualidade efetiva, é essencial estabelecer a visão da organização em paralelo com as políticas e metas convertendo objectivos em resultados, fazendo assim a qualidade acontecer recorrendo ao planeamento de qualidade, ao controlo de qualidade e à melhoria da qualidade. Estas três premissas de acordo com Henderson (2011) definem qualidade como o atingir do objectivo com a mínima variação, sendo para tal necessário que

os processos sejam estáveis e se comportem de uma forma previsível. Ainda no domínio da gestão da qualidade, Edward Deming é considerado como tendo sido um dos principais responsáveis no desenvolvimento do conceito “*Total Quality Management*”, onde são enfatizadas as ideias de Shewhart, e a importância da informação na gestão da tomada de decisão através do controlo estatístico dos processos, do inglês “*Statistical Process Control*” (SPC).

Finalmente, Soares (1994 e 2003) considera que as mais relevantes tendências para o futuro são o incremento da Qualidade nas empresas de prestação de serviços, em virtude do cada vez maior peso dos serviços na economia atual, uma dinâmica de melhoramento da Qualidade, ou seja o desenvolvimento de dinâmicas de Qualidade e a sua integração nas estratégias globais das diferentes organizações, e a extensão das operações de Qualidade a todas as funções e níveis hierárquicos de uma organização.

## 2.2. Da Qualidade ao Six Sigma

No período da renascença na Europa os produtos eram desenvolvidos através de produção artesanal em que o artesão era responsável por desenhar, produzir, vender e distribuir cada produto. Era usual as competências do artesão serem certificadas por ordens profissionais. Durante os séculos XVII e XVIII, um número significativo de produtos e serviços passaram a ser produzidos por maquinaria, nomeadamente na agricultura. Foi apenas no princípio do século XX que a alternativa à produção artesanal atingiu a maturidade quando a Ford desenvolveu o seu carro “*Model T*” usando uma linha de montagem, nascendo assim o conceito de produção em massa, onde podiam ser produzidos elevados números de carros idênticos. Algumas das fases da evolução da qualidade até ao *Six Sigma* no que respeita a métodos de gestão (Figura 1) e técnicas e ferramentas utilizadas (Figura 2), podem ser observadas nas figuras seguintes.

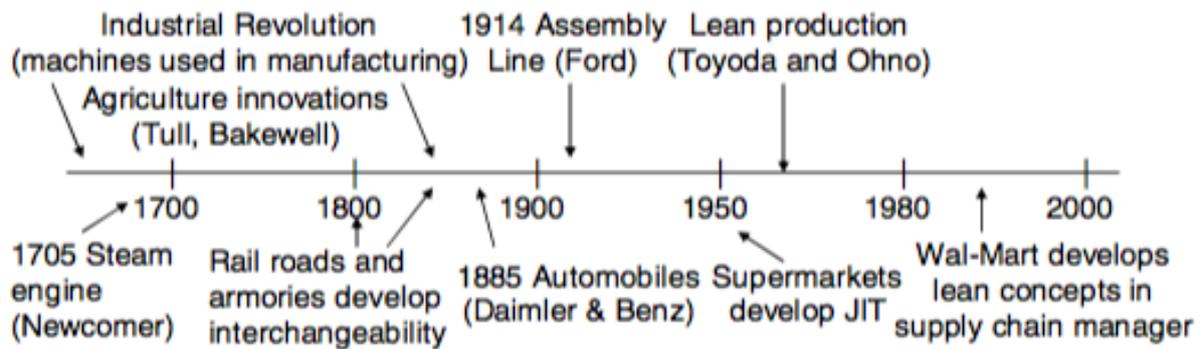


Figura 1 – Linha temporal de métodos de gestão

Fonte: Allen (2006, pp.11)

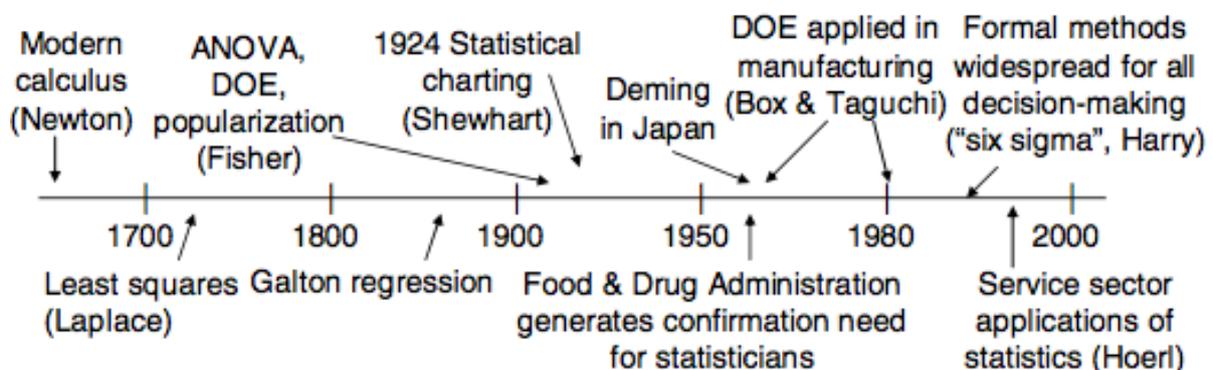


Figura 2 – Linha temporal de métodos estatísticos

Fonte: Allen (2006, pp.15)

Em 1924 nos laboratórios da Bell, W. Shewhart propôs o modelo de controlo estatístico de processos baseado nos gráficos X-Barra e R também denominados por gráficos "Shewhart". A implementação dos gráficos Shewhart trouxe pela primeira vez os métodos estatísticos aos trabalhadores não qualificados.

Allen (2006) explica como a Toyota, usando a sua abordagem de gestão de Toyoda e Ohno, foi capaz de transformar rapidamente uma fábrica da GM em quase falência, numa que conseguia produzir pelo menos tantas unidades por dia, mas com cerca de metade dos custos com pessoal operacional, e melhorando a qualidade em quase todos os aspectos.

No início dos anos 80, a Motorola desenvolve métodos de resolução de problemas que combinam técnicas relacionadas com a medição do processo, por forma a atingir reduções de custo mensuráveis extremamente significativas.

Durante os anos 90, múltiplas formas de metodologia de melhoria de produtos e processos foram publicadas, entre as quais *Total Quality Management (TQM)*, *Taguchi Methods* e a metodologia *Six Sigma* (Allen, 2006).

### 2.3. *Gestão da Qualidade Total*

Gestão da Qualidade Total (TQM) de acordo com a NBR ISO 8402:1994 (ABNT, 1994) define TQM como o modo de gestão de uma organização centrado na qualidade baseado na participação de todos os seus membros, visando ao sucesso de longo prazo, através da satisfação do cliente, e do benefício para todos os membros da organização e para a sociedade, no entanto. No entanto este processo envolve um foco na qualidade do produto, no processo de qualidade do produto, na qualidade do serviço, no processo de qualidade do serviço, no plano de negócio, no planeamento estratégico da qualidade e nos planos estratégicos de qualidade integrados, isto é, uma bem estabelecida gestão da qualidade inclui um processo de planeamento estratégico. De acordo com Sabet, Adams e Yazdani (2016) a razão para o falhanço do TQM não é a sua filosofia, mas sim a falta de estrutura para a sua correta aplicação. Ainda segundo os mesmos autores, na situação atual de competição global e clima de redução de custos, o *Six Sigma* atinge significativamente mais áreas onde o TQM perdeu o foco, uma vez que o *Six Sigma* fala a linguagem dos gestores através dos ganhos financeiros das melhorias alcançadas, sugerindo assim que o *Six Sigma* seja o substituto para a Gestão da Qualidade Total.

### 2.4. *Técnicas e Ferramentas da Qualidade*

Allen (2006) refere a influência de Taguchi no desenvolvimento de métodos estatísticos que possibilitaram o acautelamento de problemas de produção ainda no desenhar do processo.

Segundo Huang, Yeh, Lin e Lee, (2009) o Controlo Estatístico de Processo (SPC – *Statistical Process Control*) é uma das ferramentas mais utilizada para atingir a qualidade do produto ou serviço, e para reduzir custos, devido a ser um programa integrado para monitorizar, gerir, manter e melhorar o desempenho de um processo de fabricação ou serviço através do uso efetivo de métodos estatísticos (Antony & Taner, 2003) acedendo a especificações de amostras de produtos durante o processo de fabricação usando a análise estatística para identificar prontamente ocorrências anormais de modo a aplicar as ações corretivas necessárias. Allen (2006), referindo-se a Taguchi, argumenta que os métodos estatísticos podem reduzir a necessidade de alterações de *design* do processo, sendo alguns dos quais apresentadas de seguida.

#### 2.4.1. Diagramas Causa e Efeito

Pyzdek (2003a) refere que melhorias de processos envolvem atuação nas causas da sua variação, sendo que na maior parte das aplicações práticas, o número de possibilidades de causa para cada problema podem ser inúmeras. Ishikawa desenvolveu um método gráfico simples que relaciona efeitos de qualquer problema de qualidade com as suas possíveis causas. O método é conhecido por diagrama de Ishikawa, diagrama de espinha de peixe ou diagrama causa e efeito.

#### 2.4.2. Gráficos Boxplot

Os gráficos *boxplot* analisam a localização, dispersão e forma dos dados. Dependendo do tipo de *boxplot* pode ainda mostrar os “*outlier*”, pontos fora do *range* esperado. Os gráficos *boxplot* são uma ferramenta útil para comparação de dois ou mais grupos de amostras (Pyzdek, 2003a).

#### 2.4.3. Gráficos Temporais

Uma das formas mais tradicionais de analisar dados ao longo do tempo são os gráficos temporais. Os gráficos temporais ajudam a determinar mudanças, derivas e padrões dos dados

ao longo do tempo. Nos gráficos temporais os dados são registados na ordem em que ocorrem no tempo (Pyzdek, 2003a).

#### 2.4.4. 5 Porquês

Os 5 porquês, divididos pelos tópicos Pessoas, Materiais, Maquinas, Ambiente e Método, são uma ferramenta que é frequentemente usada em conjugação com os diagramas de Ishikawa. Através de sucessivas questões de porquês, num máximo de cinco, vamos aprofundando as potenciais causas do problema até atingirmos algo que seja questionável do ponto de vista da raiz do problema (Mcarthy, Bremer, Daniels & Gupta, 2006).

#### 2.4.5. Teste de Hipóteses

Segundo MCarthy *et al.* (2006) o teste de hipóteses é uma análise estatística onde as hipóteses são especificadas, os dados são recolhidos e uma decisão é tomada baseada nos dados recolhidos e no seu valor de probabilidade (P-Value). Este teste pode ser usado para detetar diferenças entre médias e o “*target*” do processo. Duas hipóteses são enunciadas, a primeira é a hipótese nula,  $H_0$ , onde é apontada a hipótese que não se pretende comprovar. A segunda é a hipótese alternativa,  $H_1$ , a qual se pretende comprovar.

#### 2.4.6. Gráficos de Pareto

A ferramenta Gráficos de Pareto é atribuída a Vilfredo Pareto, um economista italiano, que há mais de 100 anos observou que a maior parte da riqueza em Itália era controlada por um pequeno número de famílias que eram os principais impulsionadores da economia italiana, sendo a proporção de 80/20, ou seja, 80% dos rendimentos pertenciam às famílias mais abastadas, que representavam 20% da população. Foi no entanto Juran quem aplicou esta relação à qualidade observando que a falta de qualidade pode frequentemente ser combatida atacando algumas causas maiores responsáveis pela maior parte dos problemas (Black, 2007).

#### 2.4.7. *Poka-Yoke*

*Poke-Yoke* significa à prova de falha e foi uma ideia desenvolvida por Shiego Shingo nos anos 60. O conceito do *Poke-Yoke* é desenhar o processo em que falhas são improváveis ou pelo menos facilmente detetáveis e corrigidas. As formas de aplicação de dispositivos *Poke-Yoke* normalmente recaem em duas grandes categorias, prevenção e detecção. O dispositivo de prevenção, existe quando seja extremamente improvável que uma falha possa acontecer. Os dispositivos de detecção, sinalizam quando uma falha tenha sido cometida, de modo a que o utilizador possa rapidamente corrigir o problema (Black, 2007).

#### 2.4.8. *Análise de Sistemas de Medição (MSA)*

Análise de Sistemas de Medição (MSA) são usados para verificar se os sistemas de medição produzem dados válidos, antes que se tomem decisões baseadas em dados incorretos. As técnicas do MSA estão mais orientadas para um ambiente de fabricação, no entanto a Análise de Sistemas de Medição são uma parte importante de qualquer projeto *Six Sigma* independentemente do ambiente (Mcarthy *et al.*, 2004).

#### 2.4.9. *Gráficos de Controlo*

De acordo com Breyfogle III (2003) a melhor ferramenta para determinar se a variação tem uma causa comum ou uma causa especial são os Gráficos de Controlo, em que o eixo do X é temporal, ou um factor que signifique tempo, e o eixo do Y a métrica a controlar. Estes gráficos incluem os limites de controlo estatisticamente calculados (Limite Superior de Controlo e Limite Inferior de Controlo), os limites de especificação (Limite Superior de Especificação e Limite Inferior de Especificação) e a linha central com o “*target*”. Para controlo de variáveis os tipos de gráficos usados são o X-barra para médias e o R para amplitudes. Por outro lado, se o controlo for de atributos, os gráficos C e U são utilizados para defeitos e os gráficos P e NP para defeituosos, onde p é a proporção de unidades defeituosas (Black, 2010).

#### 2.4.10. Minitab

Henderson (2011) refere que milhares de *Black Belts* e *Green Belts* em todo o mundo utilizam *softwares* como ferramenta de suporte na aplicação de métodos estatísticos a melhorias de qualidade. Henderson (2011) afirma ainda que o Minitab é sem dúvida um software de fácil utilização, e que é o software líder para projetos de estatística, *Lean*, *Six Sigma* e melhoria de qualidade. De referir que as ferramentas anteriormente mencionadas estão contidas no Minitab, *software* propriedade da Minitab Inc, e que todos os dados apresentados no Capítulo 4, foram efetuados recorrendo ao Minitab versão 17.

#### 2.5. Six Sigma

##### 2.5.1. O que é o Six Sigma

Segundo Henderson (2011), o método *Six Sigma* é uma abordagem disciplinada, orientada para projeto e utilizando a estatística para reduzir a variabilidade, terminar com defeitos e eliminar desperdício de produtos, processos e transações. O autor afirma igualmente que o *Six Sigma* é hoje a maior iniciativa no mundo empresarial para a melhoria da qualidade e do negócio. Orbak (2012) afirma que ao utilizar esta metodologia, as organizações atingirão a excelência operacional obtendo melhores lucros, mais produtividade e aumento da quota de mercado. Para Henderson (2011), o *Six Sigma* reflete a filosofia de procura de perfeição ou excelência em tudo o que uma organização faz. Afirma também, que o *Six Sigma* é provavelmente o programa de maior sucesso já alguma vez idealizado para produzir mudanças numa organização. É uma abordagem de gestão baseada em projeto que pretende atingir, através de objectivos bem delineados, melhores processos, produtos e serviços nas organizações através de uma constante eliminação das suas ineficiências (Orbak, 2012). Henderson (2011), numa abordagem prática, enuncia que um processo com um nível de qualidade *Sigma* de 6, corresponde a 3,4 defeitos por um milhão de oportunidades, isto é, 99,99966% de perfeição. Ainda nesta ótica Prabhushankar, Devadasan, Shalij e

Thirunavukkarasu (2009), vêem o *Six Sigma* como uma abordagem para melhorar a qualidade de produtos e serviços, que ambiciona a quase perfeição atingindo apenas 3,4 defeitos por um milhão de oportunidades (DPMO). Simanová (2015) refere que o *Six Sigma* substitui a improvisação por uma abordagem de engenharia profissional, as suposições e subjetividades por factos, e os resultados fictícios por dinheiro real. Costa, Silva e Ferreira (2017) argumentam que o *Six Sigma* é uma estratégia que é usada tanto para melhoria da rentabilidade, bem como garante de eficiência em todas as operações, com o propósito de ir ao encontro das exigências dos clientes e suas expectativas. Ainda de acordo com os mesmos autores, ao contrário de outros movimentos que tem como objectivo melhorar a qualidade, cujo foco principal é o foco no produto e serviço para o cliente final, o *Six Sigma* dá ênfase à qualidade de todo o sistema global de uma organização. Henderson (2011) numa analogia cinematográfica, afirma que o *Six Sigma* é a estrada de tijolo amarelo que guia a estratégia até à terra de Oz. Snee (2004) descreve o *Six Sigma* como a estratégia e metodologia para o desenvolvimento do pensamento estatístico e de métodos numa organização. McCarty *et al.* (2004), abordam o *Six Sigma* como tendo evoluído da métrica, passando pela metodologia e sendo considerado atualmente como um sistema de gestão integrada. Enquanto que *Green Belts*, *Black Belts*, *Master Black Belts*, *Champions* e *Sponsors* foram formados em métricas e metodologias, poucos foram orientados a ver o *Six Sigma* como um sistema de gestão integrada. Por forma a entender a filosofia por detrás deste conceito os autores elaboraram a seguinte figura (Figura 3).

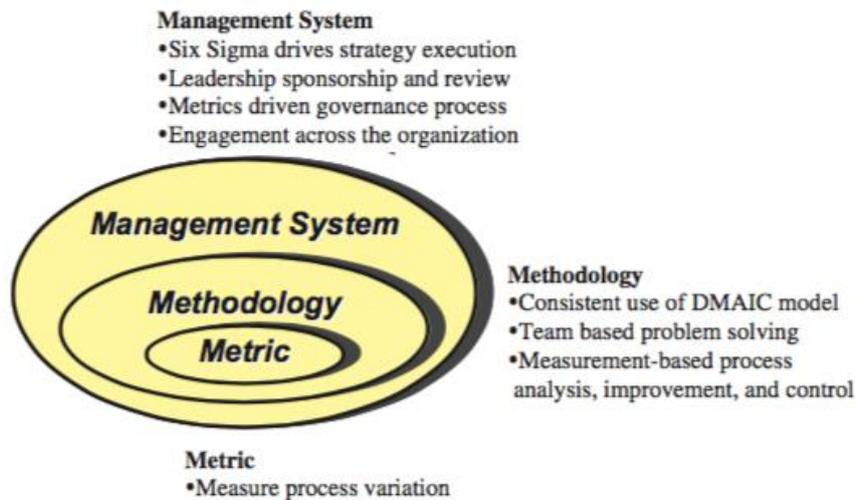


Figura 3 – *Six Sigma* como Métrica, Metodologia e Sistema de Gestão

Fonte: Mcarty *et al.* (2004, pp.3)

Para Quinello (2004), os principais desafios na implementação do *Six Sigma* são criar condições culturais para a mudança, forte comprometimento da liderança, mecanismos de incentivo, projetos totalmente orientados aos principais problemas da organização, assim como reunir dados tangíveis e quantificáveis.

### 2.5.2. Relação entre Lean e Six Sigma

*Six Sigma* é um método genérico para melhoria de sistemas ou desenho de novos produtos, enquanto *Lean* dá ênfase à estrutura de sistemas de produção (Allen, 2006). O autor afirma ainda que o *Six Sigma* está focado mais em como implementar melhorias, ou desenho de novos produtos, usando a estatística e otimização de métodos de uma forma estruturada. O *Lean* está focado em qual a forma a ser implementada nos sistemas de produção. Para Drohomeretski, Costa, Lima e Garbuio (2014), *Six Sigma* é uma estratégia que procura identificar e eliminar as causas de defeitos ou erros em processos do negócio, concentrando-se nas atividades relevantes para os clientes, enquanto o *Lean* procura reduzir o esforço humano, *stocks*, tempos de entrega e áreas de produção, por forma a ir ao encontro das necessidades do mercado entregando produtos de alta qualidade a preços reduzidos. Alhuraish *et al.* (2017) afirmam que o *Six Sigma* é tipicamente implementado efetivamente apenas depois de

processos *Lean* serem já uma realidade, e que os fatores críticos de sucesso incluem comunicação, mudança cultural e comprometimento dos gestores de topo. Ainda de acordo com Alhuraish *et al.* (2017), uma implementação em simultâneo do *Six Sigma* e do *Lean* é preferível a uma implementação individual. No entanto, se tal não for possível, uma implementação sequencial é preferível, tendo em atenção os factores críticos de ambos os métodos.

### 2.5.3. *Que organizações podem e devem usá-lo*

Qualquer organização pode, e deve, utilizar o *Six Sigma* como estratégia de gestão para a melhoria contínua dos seus processos e negócios, uma vez que a metodologia ajuda as organizações a terem mais lucros através da melhoria do valor e eficiência do produto para o cliente (Pyzdek, 2003b). O mesmo autor refere ainda que a diferença entre o potencial e o atual nível de qualidade é desperdício, e desta forma, qualquer organização que tenha o *Six Sigma* como foco na melhoria da qualidade irá produzir produtos e serviços melhores, mais rapidamente e mais baratos. Existe uma relação direta entre o nível de qualidade e o nível de *Sigma* em termos de desempenho. Por exemplo, um processo que seja *Six Sigma* irá falhar nos seus requisitos em cerca de 3 vezes em cada milhão de oportunidades. Tipicamente uma empresa está no nível *Sigma* de 4 o que corresponde a 6210 falhas por um milhão de oportunidades. Desta forma, o *Six Sigma* identifica e elimina custos que não acrescentam valor para os clientes. A razão pela qual os custos estão diretamente relacionados com o nível de *Sigma* é porque os níveis de *Sigma* são uma medida de proporção do erro e do custo para corrigir esse erro. A Figura 4 mostra a relação entre o custo do erro e o nível de *Sigma*.

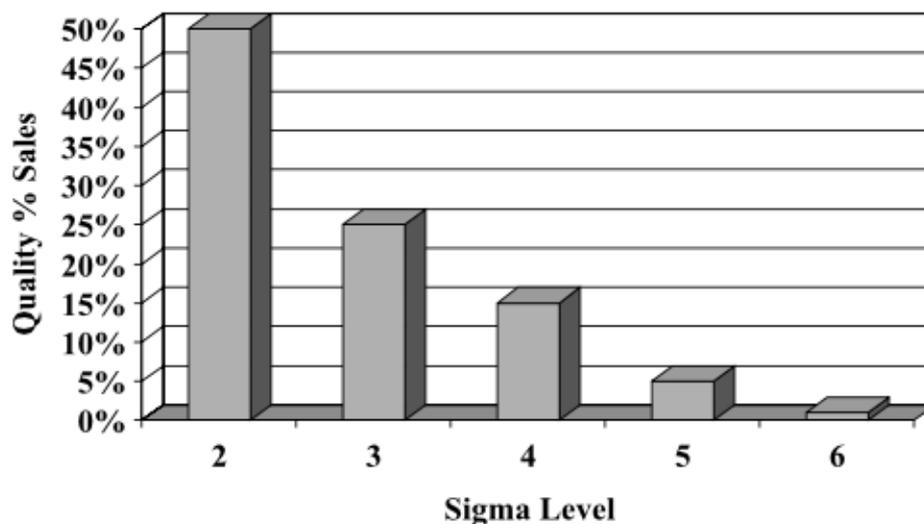


Figura 4 – Custo de Má Qualidade (COPQ) vs o nível de *Sigma*

Fonte: Pyzdek (2003b)

#### 2.5.4. Quando e por quem o método foi desenvolvido

Allen (2006) afirma que o movimento *Six Sigma* iniciou-se em 1979 na Motorola quando um executivo decidiu atacar o problema da qualidade, dizendo que “a nossa qualidade é má” (“*our quality stinks*”) devido ao número de unidades produzidas corretamente ter uma percentagem baixa, e que essa baixa qualidade estaria a por em causa os lucros da empresa. Ainda segundo Allen (2006), no início dos anos 80, a Motorola desenvolveu métodos de resolução de problemas, que em combinação com técnicas estatísticas particularmente relacionadas com medição, permitiu alcançar poupanças mensuráveis na ordem dos milhões de dólares, e em meados dos anos 80, a Motorola cria a sua própria academia de consultoria e formação denominada de “*Six Sigma Academy*” (SSA). Hahn, Hill, Hoerl e Zinkgraf (1999) comentaram que a formação de *Six Sigma* tornou-se mais popular que outras formações em parte devido a ter trazido técnicas estatísticas *standard*, como por exemplo gráficos de controlo que permitiam medições em termos financeiros e/ou físicos

#### 2.5.5. Quais as maiores vantagens

George (2002) responde à questão sobre porque é que as organizações necessitam do *Six Sigma*, apontando a velocidade, a qualidade e o custo como sendo os três factores críticos de

vantagem para o motor que conduz à produtividade e à competitividade sustentável. Com a velocidade em reduzir os “*lead times*” do processo, os defeitos de qualidade, o custo e o investimento de capital, o *Six Sigma* providencia um caminho comum desde os administradores, passando pelos diretores e incluindo também os colaboradores. Tanik e Sen (2012) listam os factores que determinam o sucesso do *Six Sigma* descrevendo especificamente os elementos básicos, e definindo algumas das perigosas crenças que irão resultar no descalabro dos programas. Numa outra abordagem Antony e Banuela (2002) listam 11 factores de sucesso para uma bem sucedida implementação do *Six Sigma* que cobrem quase todos os factores de gestão, e é uma boa base para uma profunda análise de implementação do *Six Sigma*.

Black (2010) menciona Welch durante o lançamento do *Six Sigma* na GE referindo que seria o empreendimento mais ambicioso que a organização já alguma vez tivera. Ainda nas palavras de Welch, diz que a qualidade pode transformar verdadeiramente a GE de umas das melhores empresas para, absolutamente, a maior empresa mundial. Associado ao êxito do *Six Sigma* três pontos são essenciais segundo Castro (2012):

- Liderança ativamente comprometida;
- Utilização dos melhores talentos;
- Obtenção de uma infraestrutura de suporte.

Na mesma ótica, Alhuraish *et al.* (2017) afirmam que o comprometimento da gestão de topo, comunicação, competências e conhecimento, educação e formação são factores críticos de sucesso para uma implementação de sucesso do *Six Sigma*, sendo o comprometimento da gestão de topo a principal razão.

O efeito da liderança na organização e na equipa pode levar ao sucesso ou insucesso do projeto, podendo ser assim uma vantagem ou desvantagem a sua aplicação ou continuação. Segundo Castro (2012) uma equipa é um conjunto de pessoas motivadas de competências

complementares que confiam entre si, têm um objectivo comum, e se sentem mutuamente responsáveis pelos resultados alcançados.

#### 2.5.6. *Quais as desvantagens*

Alhuraish *et al.* (2017) afirmam que antes de uma organização implementar o *Six Sigma* deve-se questionar se tem a capacidade para a mudança cultural, envolvimento dos colaboradores, ligação dos métodos à estratégia do negócio e comunicação. Apenas depois que responder afirmativamente a todas estas questões deve avaliar os recursos e a capacidade de aplicar os factores críticos de sucesso, tais como competências e conhecimento, e comprometimento da gestão de topo.

Segundo Pyzdek (2003b), alguns processos não são tão abertos ao *Six Sigma*, por exemplo, departamentos como Investigação e Desenvolvimento (I&D), em que a Investigação envolve um grau elevado de pensamento criativo e original, focado no rigor, por contraponto do foco do *Six Sigma* que é na falha. No que diz respeito ao Desenvolvimento, o *Six Sigma* poderá ser aplicado quando do desenho de novos processos e teste de produtos. Por outro lado Dahlgaard e Dahlgaard-Park (2006) argumentam que o fator humano e a cultura da organização são de extrema importância. Afirmam que a maioria dos programas de *Six Sigma* focam-se nas ferramentas e técnicas, mas negligenciam a cultura da organização e como ela pode ser transformada num estado em que todas os colaboradores estejam comprometidos com a mudança e a melhoria contínua. Menezes, Wood e Gelade (2010) argumentam que uma real melhoria contínua não pode ser alcançada sem a participação dos colaboradores.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. A Metodologia DMAIC

A metodologia DMAIC surge associada aos princípios e práticas *Six Sigma*, sendo o reconhecimento da importância que os processos têm na sustentabilidade de uma organização o que levou ao desenvolvimento do *Six Sigma*, uma metodologia focada em processos e produtos o que lhe confere um carácter corretivo. Costa *et al.* (2017) argumentam que o DMAIC constitui uma das chaves de sucesso do *Six Sigma*, e que através desta abordagem a melhoria obtida em produtos e processos converge no sentido de que se tornam mais eficientes e efetivos. Esta metodologia, segundo Prabhushankar *et al.* (2008) foi iniciada pela General Electric (GE) e é usada para melhorar e otimizar processos e produtos existentes. Os projetos focados na metodologia DMAIC podem ajudar enormemente a eficácia dos processos, mas para atingir essa eficácia não basta trabalhar sobre algo que já existe e melhorá-lo, é necessário atuar mais cedo, no início do produto ou processo. Desta forma, a metodologia DMAIC é aquela que aplicada aos processos, e utilizando a estatística para entender os factos observados, provenientes de dados abundantes que os próprios processos, devido à sua repetibilidade, acabam por gerar, é a metodologia mais associada ao *Six Sigma*. Esses dados são uma fonte para gerar informação, que por sua vez está na base de todo o conhecimento. É do conhecimento que nasce a vantagem competitiva de um negócio, e tê-lo é abrir portas para se chegar a número 1.

A metodologia utilizada neste projeto é então designada por DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) e esquematicamente pode ser vista na Figura 5.

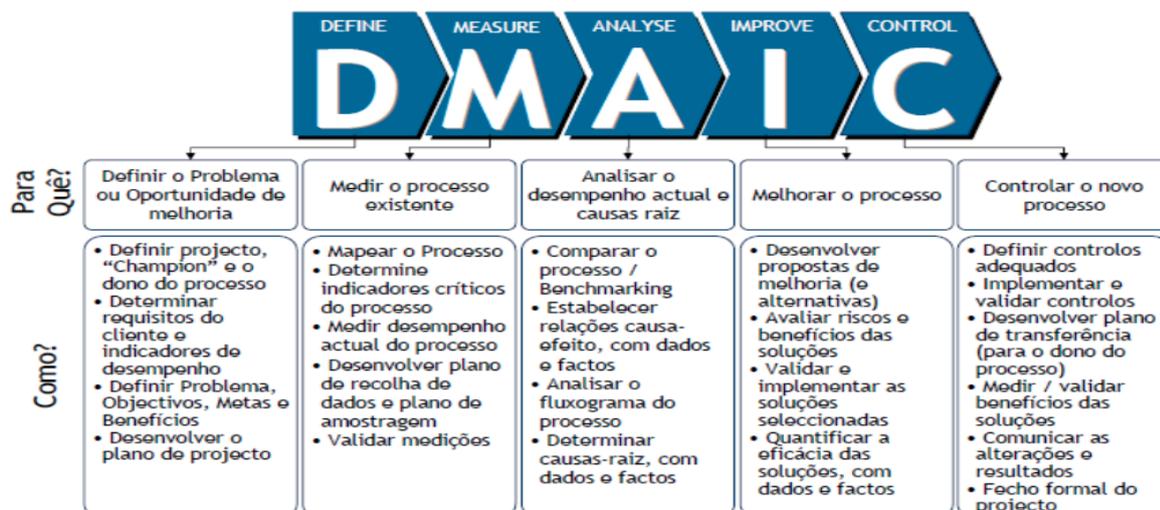


Figura 5 - DMAIC

Fonte: Elaboração própria

Torna-se assim evidente a aplicabilidade no projeto em análise, uma vez que o DMAIC é usado quando o objectivo do projeto pode ser alcançado melhorando um produto, processo ou serviço. Analisando mais detalhadamente cada fase da metodologia pode-se então definir cada uma delas da seguinte forma.

*Define* – Nesta fase compete definir os objectivos da atividade a melhorar. Os mais importantes são os obtidos dos clientes, internos e/ou externos. No topo das prioridades dos objectivos estão os estratégicos para a organização, tais como, lealdade do cliente, maior redução de custos, aumento da cota de mercado ou aumentar a satisfação dos colaboradores. A nível de operações estão os objetivos de aumentar a capacidade de produção. Já a nível de objectivos de projeto pode ser a redução do nível de defeitos, falhas ou desperdício ou aumentar a capacidade de um determinado processo. É igualmente nesta fase que são definidos os *inputs* do projeto, os Y's, (*outputs*) que são os do negócio (By), dos clientes (Cy) e os do processo (Py) e assegurar que são devidamente quantificáveis e corretamente medidos na fase seguinte. Serão eles a base da comparação do antes e do depois das melhorias implementadas.

Ferramentas usadas nesta fase são: propósito do projeto (*SOW – Statement Of Work*), definição e dimensão do problema e Custo de Má Qualidade (COPQ).

*Measure* – É na fase de medição que se mede o estado atual do sistema existente. Estabelecer métricas válidas e credíveis para ajudar a monitorizar o progresso do processo através dos objectivos definidos na fase anterior. Igualmente nesta fase são quantificados os Y's (*outputs*) dos clientes (Cy) e os do negocio (By) e determinados os do processo (Py).

Ferramentas usadas nesta fase são: mapa do processo, gráficos de Pareto, gráficos de controlo, Diagramas Input – Process – Output (IPO), diagramas How-How e diagrama Ishikawa.

*Analyse* – Nesta fase da metodologia aplicada no projeto irá ser analisado o sistema de modo a identificar formas de eliminar a diferença entre a performance atual do processo e o objectivo pretendido. São usadas análises exploratórias e descritivas para ajudar a interpretar os dados. É nesta fase que as ferramentas estatísticas são utilizadas de modo a guiar a análise e são identificadas as causas raiz dos defeitos, ou seja os X's (*inputs*) e o seu impacto nos Y's (*outputs*).

Ferramentas usadas nesta fase podem ser a capacidade do processo (Cp & Cpk), gráficos *boxplot*, regressões, ANOVA e teste de hipóteses.

*Improve* – A fase mais criativa é a fase de implementação das ações que irão tornar possível fazer melhor, mais barato e mais rápido, ou seja, comprovar estatisticamente que as ações implementadas tiveram realmente impacto na redução dos níveis de defeito.

Ferramentas usadas nesta fase são: sistemas puxar (*“pull system”*), benchmarking, DOE (*“Design Of Experiments”*) e teste de hipóteses.

*Control* – Depois das ações de melhoria necessárias estarem implementadas é preciso garantir que as melhorias são sustentadas, mesmo quando não seja mais necessário recorrer ao *Six Sigma*. A última fase é então controlar o novo desenho de processo, institucionalizar e standardizar métodos e processos alterando planos de controlo, políticas, procedimentos,

*software*, orçamentos, instruções de trabalho ou outros sistemas de gestão. Para garantir esta fase é necessário monitorizar a estabilidade dos processos.

Ferramentas utilizadas nesta fase são: histogramas, gráficos de controlo, diagramas de Pareto, gráficos temporais e dispositivos “*poka-yoke*”.

### 3.2. Pergunta de investigação

Baseado na revisão de literatura apresentada anteriormente, e na descrição da metodologia DMAIC, a pergunta de pesquisa deste projeto é agora recordada:

- Será que alterações no processo e/ou máquinas na linha de montagem de baterias são estatisticamente relevantes na redução de sucata?

## 4. ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

## 4.1. Definir (Define)

É importante nesta fase definir qual o projeto que vai ser desenvolvido pela organização. Primordial é entender qual o problema, e seguindo esta metodologia, a empresa ABC identificou como principal problema a redução de sucata, em particular no processo de armar jogos de placas para baterias. Neste ponto definem-se quais os pontos a ter conta que sejam importantes para o cliente interno, ou seja, que seja fácil de montar os jogos de placas dentro da bateria, que seja fácil de soldar, que passe os testes à primeira, que não haja necessidade de retrabalho e que não cause acidentes, dando origem ao *output* (Y) pretendido que é ter os jogos bem colocados dentro da bateria e devidamente soldados, conforme descrito no seguinte mapa de processo (Figura 6):

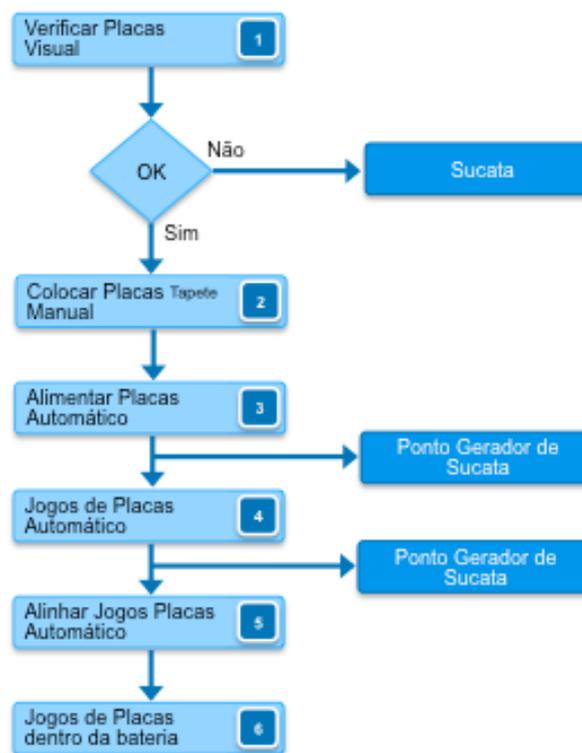


Figura 6 - Processo de armar jogos dentro da bateria

Fonte: Elaboração própria

Para definir corretamente o *output* (Y) são definidos os Y's de Negócio (*Business*), de Cliente (*Customer*), e Processo (*Process*) que se encontram descritos em seguida:

*Business Y's:*

By1 – Custo de sucata por semana (€)

By2 – Rejeição de placas por turno (un)

*Customer Y's:*

Cy1 – Baterias com defeito (%)

Cy2 – Custo de retrabalho (€)

*Process Y's*

Py1 – Defeito placa dobrada (%)

Py2 – Defeito fora especificação (%)

A partir dos *outputs* podemos perceber a importância dada pela empresa ABC ao nível de sucata pela proporção de defeitos e pelo custo da mesma, desta forma o objectivo do projeto é a sua redução, sendo a sua eliminação o foco principal. Para calcular cada um dos outputs são recolhidos dados através do *software* SPC durante o ano de 2016 sendo os valores iniciais do projeto os apurados em seguida:

<p><b>Business Y's:</b></p> <p>By1 – Custo de sucata por semana (€) By2 – Rejeição de placas por turno (un)</p>	<p><b>Antes</b></p> <p>2005€ (1106€ + 899€) 78,1un / 65,1un / 87,9un</p>
<p><b>Customer Y's:</b></p> <p>Cy1 – Baterias com defeitos (%) Cy2 – Custo de retrabalho (€)</p>	<p><b>Antes</b></p> <p>0,1614% 3.516€</p>
<p><b>Process Y's:</b></p> <p>Py1 – Proporção defeito placa dobrada (%) Py2 – Proporção defeito fora especificação (%)</p>	<p><b>Antes</b></p> <p>0,365% 1,306%</p>

Resultando num Custo de Má Qualidade (COPQ) de 90.790€ em *hard savings* (placas sucatadas) e de 3.516€ em *soft savings* (procedimentos de limpeza devido a sucata e identificação incorreta de defeito). Focando o problema nas placas com defeitos pode-se

definir, durante este período, que a linha de armar jogos em análise gera 187.953 placas de sucata devido a 118.893 (63%) em placas dobradas e 69.060 (36%) em placas fora de especificação. Igualmente importante será definir corretamente o defeito de fora de especificação por forma a perceber a causa deste problema.

#### 4.2. Medir (Measure)

Recorrendo aos gráficos de Pareto é feita a primeira medição do estado do problema ao nível da caracterização do defeito (Figura 7).

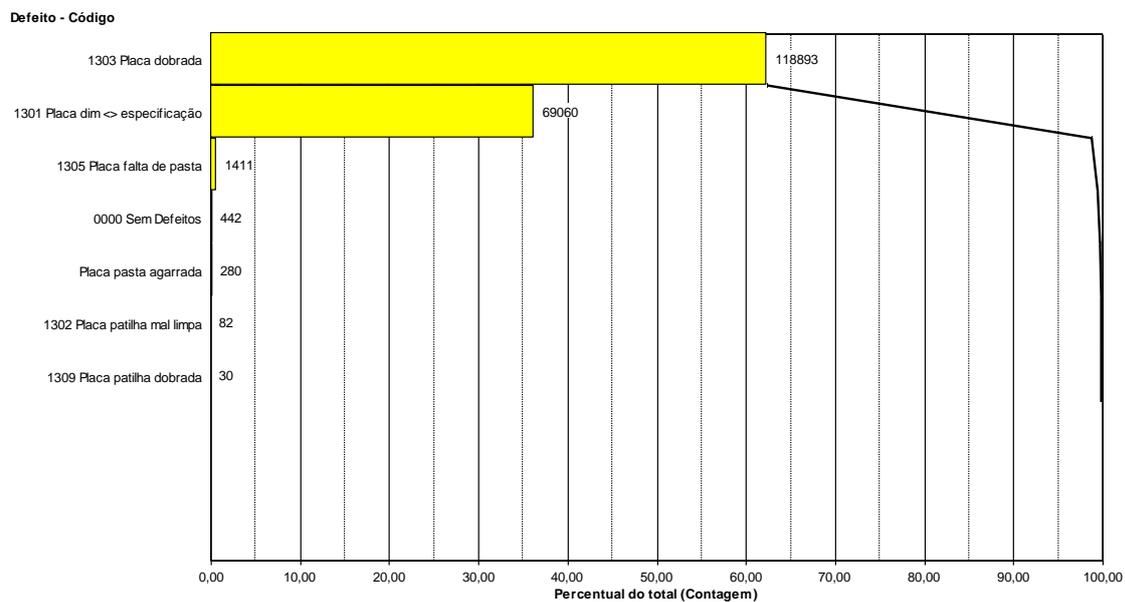


Figura 7 – Pareto tipo de defeito

Fonte: *Software SPC* empresa ABC

Torna-se claro que existe um problema ao nível do defeito de placa dobrada (63%) e de placa fora de especificação (36%). Os restantes defeitos (1%) não têm expressão. Os dados do tipo de defeito são atributos, logo a ferramenta utilizada para medir o comportamento do processo são os gráficos tipo P para defeituosos, através de uma distribuição binomial para uma proporção em diagrama temporal conforme Figura 8:

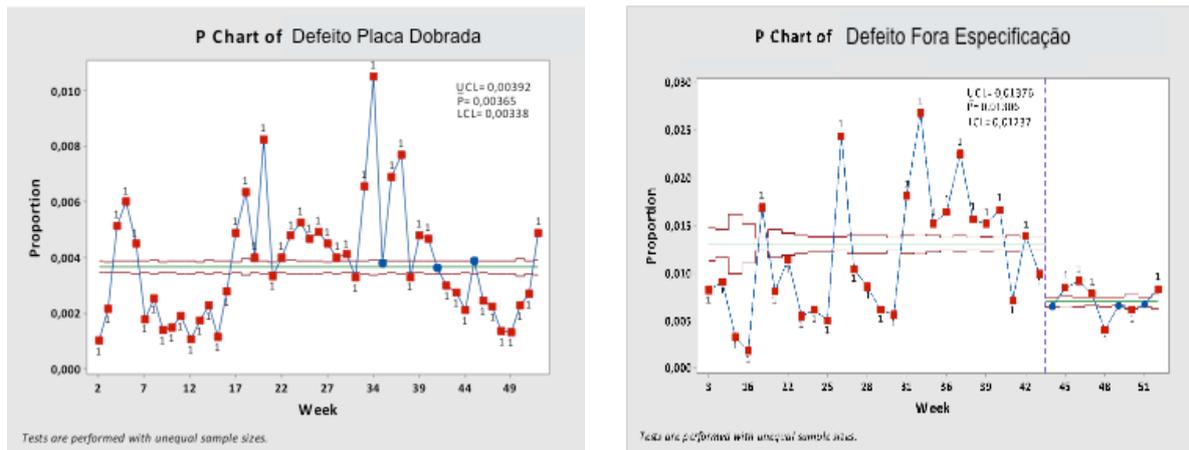


Figura 8 – P Chart Placa dobrada e fora de especificação

Fonte: Minitab v17 empresa ABC

Obtemos assim uma proporção de defeitos, volume produzido vs quantidade de defeitos encontrados de 0,365% (3650ppm) para o defeito de placa dobrada e de 1,306% (13060ppm) para o defeito de placa fora de especificação. Interessante verificar que em ambos os casos a maior proporção acontece na semana 34 após a paragem de agosto, e os valores mais baixos entre a semana 44 e 52, o que denota uma relação de possível causa comum.

Para medir o impacto destes defeitos é igualmente importante determinar a proporção de defeitos encontrados nas baterias com os jogos armados já no seu interior, e neste caso o P chart do processo é o seguinte (Figura 9):

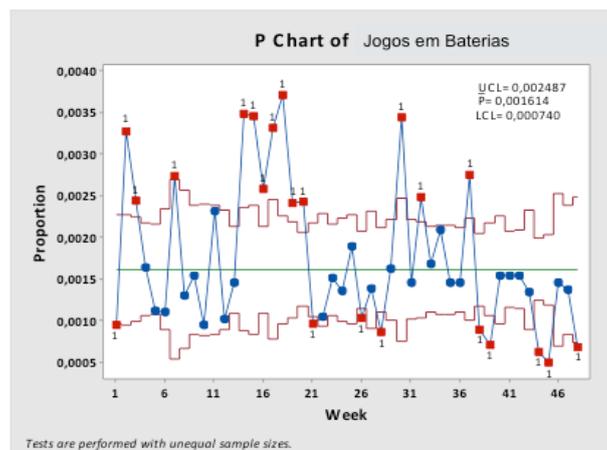


Figura 9 – P Chart Jogos em baterias

Fonte: Minitab v17 empresa ABC

A proporção é então de 0,1614% (1614ppm) sendo os valores mais elevados durante o período entre as semanas 14 a 18, e o valor mais baixo entre a semana 38 e 44.

Neste ponto a equipa decidiu verificar se algum dos turnos estaria a gerar mais sucata que os restantes, e para tal procedeu-se à medição via gráfico *boxplot* (Figura 10) utilizando a ferramenta One-way ANOVA, Quantidade Vs Turno fazendo uma análise de hipóteses.

Plano de teste: Verificar se existe uma relação entre a quantidade de defeitos e o turno

Hipótese nula Ho: Média dos defeitos é igual

Hipótese alternativa H1: Média dos defeitos é diferente

**One-way ANOVA: Defect Qty versus Shift**

Factor Levels Values  
Shift 3 Turno 1; Turno 2; Turno 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Shift	2	136748	68374	2,95	0,053
Error	1552	36027622	23214		
Total	1554	36164370			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
152,360	0,38%	0,25%	0,00%

Means

Shift	N	Mean	StDev	95% CI
Turno 1	517	78,08	160,64	(64,94; 91,22)
Turno 2	560	65,09	135,70	(52,46; 77,72)
Turno 3	478	87,94	161,34	(74,27; 101,61)

Pooled StDev = 152,360

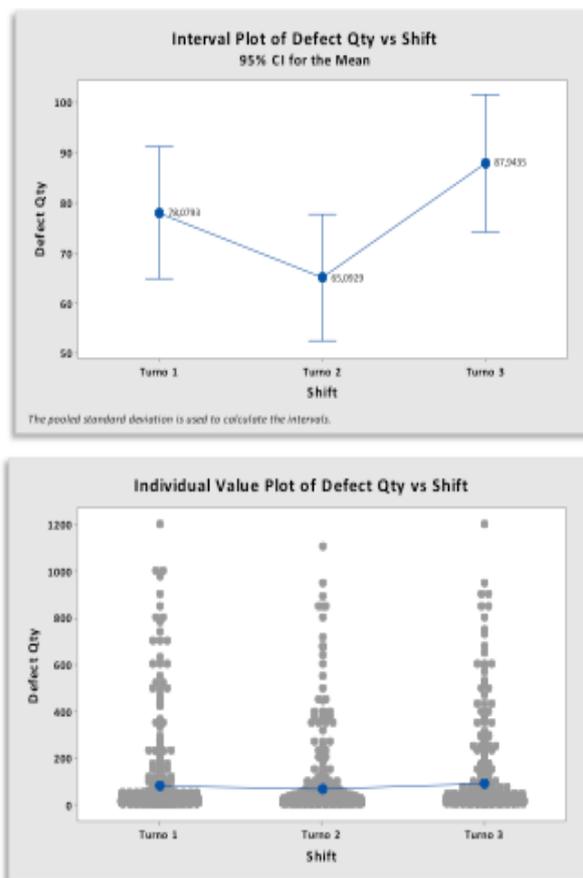


Figura 10 – Teste de hipóteses quantidade vs turno

Fonte: Minitab v17 empresa ABC

Tendo em conta o P-Value de 0,053, superior a 0,05 rejeita-se a hipótese alternativa H1, ou seja, não existe relação entre a quantidade de defeitos e o turno que os gera.

Em termos de custos, a ferramenta utilizada para encontrar a média semanal dos defeitos foi o gráfico de controlo (Figura 11).

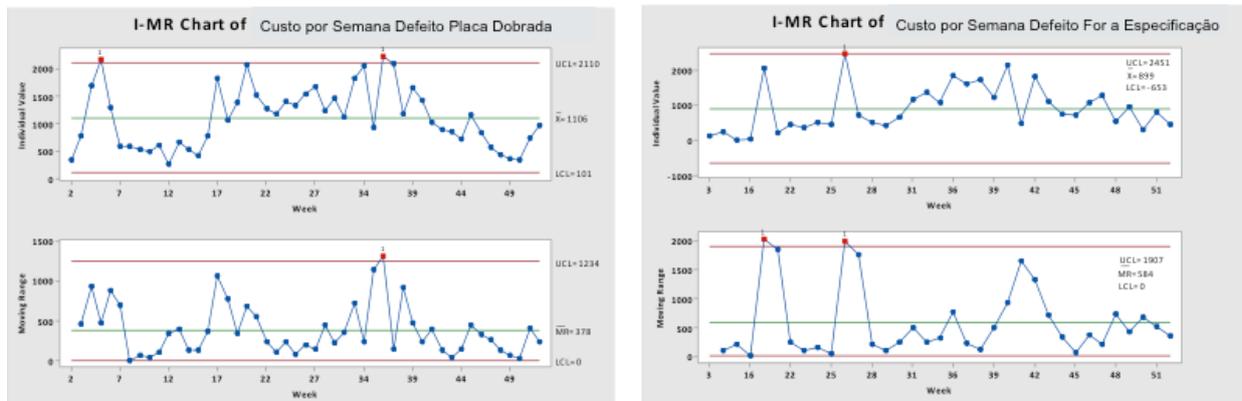


Figura 11 – Gráfico de controlo placa dobrada e fora de especificação

Fonte: Minitab v17 empresa ABC

Analisando os respectivos gráficos de controlo verificamos que alguns pontos estão fora dos limites de controlo, e que a médias semanais são respectivamente 1106€ para o defeito de placa dobrada e de 899€ para o defeito fora de especificação.

### 4.3. Analisar (Analyse)

Através do diagrama de concentração e respectivo Pareto analisou-se qual o principal ponto de sucata na máquina de armar jogos, sendo os resultados os da Figura 12:

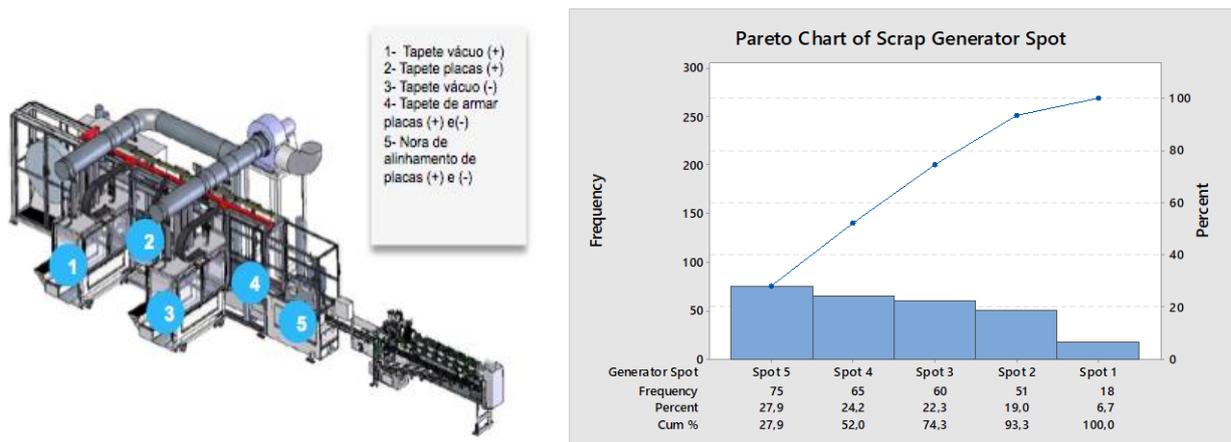


Figura 12 – Gráfico de concentração e Pareto

Fonte: Minitab v17 empresa ABC

Da análise do Pareto surge então como principal ponto gerador de sucata a nora de alinhamento de placas com 27,1%, seguido do tapete de armar placas (-) e (+) com 24,2%.

Uma vez encontrados os pontos principais geradores de sucata a equipa desenhou o diagrama causa efeito para que pudesse ser feita a relação entre os efeitos e as causas que mais contribuíram para que eles ocorressem. Na figura seguinte (Figura 13), pode então verificar-se que, de entre todas as causas/efeitos encontrados, foram identificados 4 que são considerados como prioritários.

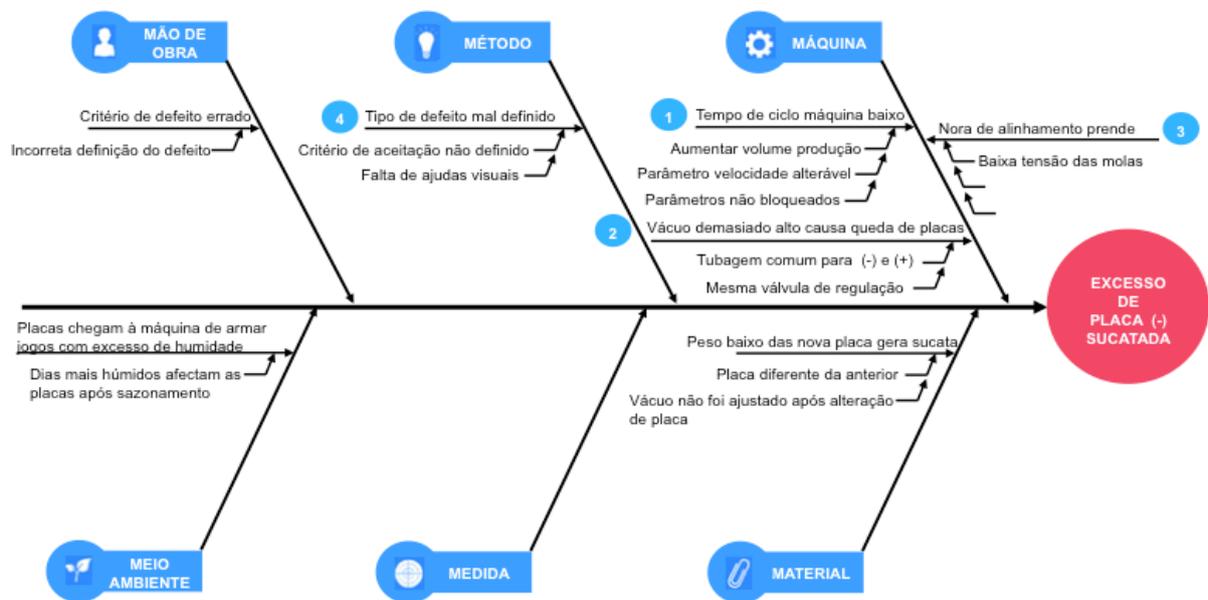


Figura 13 – Diagrama causa/efeito

Fonte: Elaboração própria

Seguindo a metodologia DMAIC, e uma vez que se encontram definidas as possíveis 4 causas, procedeu-se à comprovação estatística da mesma. Na tabela seguinte (Tabela I), Plano de Verificação de Causas, encontra-se o resumo da análise das mesmas com os resultados encontrados.

Tabela I – Plano de Verificação de Causas

R e f.	Causa Potencial	Ho	H1	O Que Testar	Como Verificar	Número de Amostras	Tipo de Teste	P-Value	Conclusão Prática
1	Tempo de ciclo da máquina demasiado baixo causa defeito de placa dobrada	Velocidade tapete (110p/min) = Velocidade tapete (116p/min)	Velocidade tapete (110p/min) ≠ Velocidade tapete (116p/min)	Variação de Proporções	Medir a proporção entre velocidades da máquina	3.227.769 (110p/min) 1.963.180 (116p/min)	2 Proportion test Or 2 Sample % Defective	P < 0,001 (P < 0,05)	A % de defeituosos de Velocidade de Máquina a 116p/min é significativamente diferente da % de defeituosos de Velocidade de Máquina a 110p/min
2	Vácuo demasiado alto causa queda de placas	Pressão de Vácuo (25mbar) = Pressão de Vácuo (35mbar)	Pressão de Vácuo (25mbar) ≠ Pressão de Vácuo (35mbar)	Variação de Proporções	Medir a proporção entre pressões de vácuo	3.680	2 Proportion test Or 2 Sample % Defective	P = 1 (P > 0,05)	A % de defeituosos a 25mBar não é significativamente diferente da % de defeituoso a 35mBar
3	Nora de alinhamento com prisão causa placa dobrada	Molas Limpas = Molas Não Limpas	Molas Limpas ≠ Molas Não Limpas	Variação de Proporções	Medir a proporção entre molas lubrificadas e molas não lubrificadas	Antes (1.305.613) Depois (156.446)	2 Proportion test Or 2 Sample % Defective	P < 0,001 (P < 0,05)	The % de defeituosos antes de limpas é significativamente diferente da % de defeituosos depois de limpas
4	Tipo de defeito mal definido está a causar critério errado no tipo de defeito	Critério do Supervisor = Critério dos Operadores	Critério do Supervisor ≠ Critério dos Operadores	Repetibilidade Reprodutibilidade	Medir a consistência de critério entre operadores e supervisor	30	MSA	Total Avaliação <80%	Total avaliação de 63,33% (Todos os operadores vs Standard) não é aceitável

Fonte: Elaboração própria

Para provar a causa #1 (nos Anexos 1, 2, 3 e 4 são apresentados os resultados respetivamente das provas de causa #1, #2, #3 e #4) foi feito o teste 2-Sample % *Defective Test* através do Minitab V17, em que se testou a hipótese de a velocidade do tapete a 110p/min vs 116p/min num total de 3.227.769 amostras para a velocidade mais baixa (tempo de ciclo maior) e 1.963.180 amostras para a velocidade mais alta (tempo de ciclo menor), tendo-se registado 5738 placas e 7702 placas sucataadas respectivamente, resultando em 0,18% a 110p/min e 0,39% a 116p/min em termos de percentagem de defeituosos. Analisando o P-Value obtido de <0,001 podemos rejeitar a hipótese nula (Ho) afirmando que existe uma diferença entre o funcionamento da máquina se estiver parametrizada a 110p/min ou a 116p/min, em que podemos ter 95% de confiança que a real diferença entre velocidades está entre 0,20% e 0,22%.

Em relação à possível causa #2 o teste escolhido foi o mesmo da #1 embora com resultados diferentes. Para esta causa foi feito o teste de hipótese comparando a pressão de vácuo a

25mBar e 35mBar, num total de amostras de 3680 para ambas as pressões em que para 25mBar não foram registadas placas sucata, e a 35mBar apenas 1 placa foi gerada como sucata, ou seja 0,00% e 0,03% de percentagem de defeituosos respectivamente. Neste caso rejeitamos a hipótese alternativa (H1) uma vez que P-Value=1 superior a 0,05, concluindo que não há evidências suficientes para que se possa concluir que a percentagem de defeituosos seja diferente, estando a diferença real, com 95% de confiança, entre -0,08% e 0,03%.

Para testar a diferença entre a nora limpa e lubrificada vs não estar limpa e lubrificada, possível causa #3, novamente o 2-Sample % *Defective Test* foi o escolhido. Foram recolhidas 1.305.613 amostras antes da limpeza e 156.446 depois da limpeza, resultando em 1.541 e 115 placas sucata respectivamente, resultando em 0,12% antes da limpeza e lubrificação e 0,07% depois da limpeza em termos de percentagem de defeituosos. O P-Value obtido foi <0,001 rejeitando desta forma a hipótese nula (Ho), ou seja, existe uma relação entre antes e depois de feita a limpeza e lubrificação das molas da nora. Podemos então afirmar com 95% de confiança que a percentagem de defeituosos está entre 0,03% e 0,06%.

Na última possível causa, #4, o teste utilizado foi o MSA. Neste caso prepararam-se 30 amostras de acordo com a Tabela II:

Tabela II – Plano de Verificação de Causas

Amostra	Supervisor					
	Primeira OK	Primeira NOK	Defeito Dobrada no Processo	Defeito Falta de Pasta Fornecedor	Defeito Dobrada Fornecedor	Defeito Falta de Cercadura Fornecedor
1		1				
2		1	1			
3	1			1		
4	1					
5		1				1
6	1					
7		1		1		
8		1				1
9		1		1		
10	1					
11	1					
12		1				1
13		1				1
14		1				1
15	1					
16	1					
17	1					
18		1	1			
19	1					
20		1		1		
21		1	1			
22		1	1			
23	1					
24		1		1		
25		1	1			
26		1			1	
27		1			1	
28		1			1	
29		1			1	
30		1			1	

Fonte: Elaboração própria

O objectivo deste teste foi testar o critério de rejeição de placas de 3 operadores, 2 do processo de armar jogos e 1 do processo fornecedor de placas interno face ao *standard* de supervisor. As 30 amostras foram divididas entre 10 placas sem defeitos, 5 dobradas no processo de armar jogos, e as restantes 15 com defeitos provenientes do fornecedor interno que anteriormente estavam designadas por fora de especificação, e neste teste foram identificadas com falta de pasta, dobrada processo fornecedor, e falta de cercadura.

Os critérios de aceitação foram definidos de acordo com o seguinte esquema. Aceitável se entre 90% e 100%, Marginal se entre 80% e 90% e Inaceitável se <80%.

Os resultados foram os seguintes:

- Cada operador: Existe uma consistência no operador 2 (100%) e no operador fornecedor (96,67%), mas não no operador 1 (76,67%);
- Cada operador vs *Standard*: Operador 2 e operador fornecedor têm uma avaliação consistente em 90% e 80% respectivamente com o *standard*. Já o operador 1 com 66,67% não é aceitável;
- Entre operadores: Apenas 70% entre operadores;
- Todos os operadores vs *standard*: Apenas 63,33% de concordância.

Torna-se claro que a caracterização do defeito não é consistente entre os operadores e o *standard*, que são as principais questões no que à definição de uma placa boa e com falta de cercadura diz respeito. Igualmente relevante é a caracterização do defeito de placa dobrada no processo e dobrada no processo fornecedor.

#### 4.4. Melhorar (*Improve*)

Tendo os resultados da fase de Análise sido apurados e confirmados, um plano de ações foi traçado por forma a melhorar o processo em estudo. O plano traçado pode ser consultado na seguinte matriz tabela (Tabela III):

Tabela III – Plano de ações

#	Problema	Ação	Eficácia	Facil Implementar	Custo	Implementado
1	Velocidade da máquina alta	Bloquear parâmetro de velocidade em 110p/min	Verde	Verde	Verde	Sim
2	Pressão de vácuo	Separar vácuo para placas (+) e placas (-)	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Não
3	Standardização de defeitos	Eliminar o defeito Fora de Especificação e criar o defeito de Placa Dobrada Fornecedor e Falta de Cercadura Fornecedor	Verde	Verde	Verde	Sim
		Colocar ajudas visuais para melhorar a identificação do defeito de Falta de Cercadura Fornecedor e dar formação aos operadores do procedimento de identificação	Verde	Verde	Verde	Sim
4	Manutenção de máquina	Criar uma ordem de manutenção preventiva para verificação da espessura e alinhamento dos tapetes de vácuo	Amarelo	Verde	Verde	Sim
		Criar uma ordem de manutenção preventiva para limpeza e lubrificação das molas da nora de alinhamento de jogos de placas	Amarelo	Verde	Verde	Sim
5	Registo do peso de sucata	Instalação de uma balança para pesagem de sucata e registo do peso	Verde	Amarelo	Amarelo	Sim

Fonte: Elaboração própria

Uma vez implementadas as medidas de ação, e de acordo com a metodologia DMAIC há que fazer a comparação entre o antes e o depois, e comprovar a eficácia das mesmas.

Para comparação em termos de placas com defeitos antes e depois das ação #1, a equipa escolheu o P-chart identificando o ponto a partir do qual a ação foi implementada. O resultado obtido pode ser confirmado nos gráficos seguintes (Figura 14):

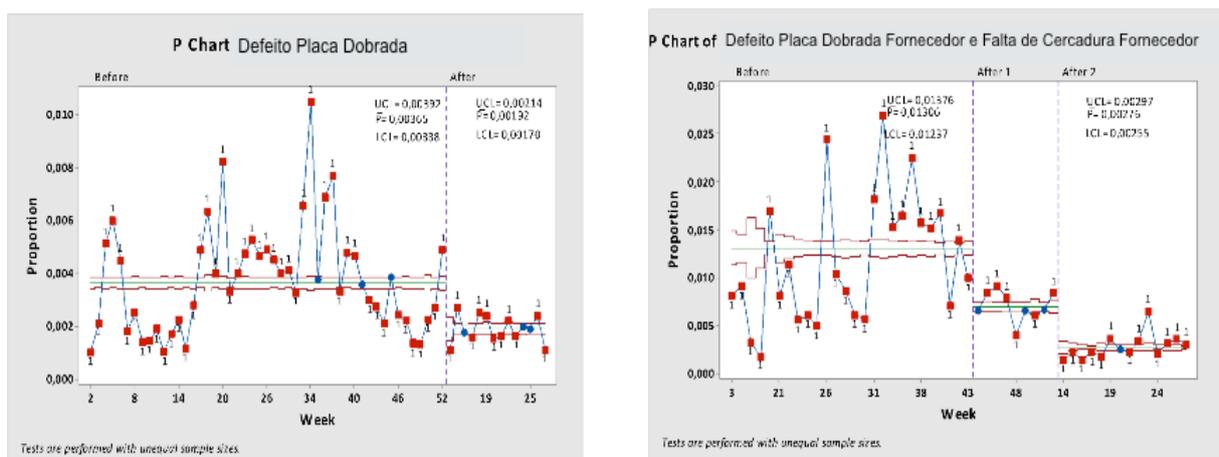


Figura 14 – P Chart de defeitos antes e depois

Fonte: Minitab v17 empresa ABC

Em termos de defeito de placa dobrada depois da ação implementada a proporção de defeituosos baixou para 0,192%, em vez dos 0,365% no início do projeto. Com a eliminação do defeito fora de especificação e a criação dos dois defeitos que de facto caracterizavam os defeitos encontrados, a proporção baixou de 1,306% para 0,276%. Para comprovar estatisticamente esta redução, procedeu-se ao teste de hipóteses recorrendo ao 2-Sample % *Defective Test* através do Minitab v17. Neste caso, antes das ações tínhamos 32.571.364 amostras, das quais 118.893 com defeito de placa dobrada no processo de armar jogos, enquanto que depois das ações tínhamos 5.320.455 amostras e apenas 10.214 com defeito. Representando uma proporção antes de 0,37% e depois de 0,19%. O P-value obtido foi <0,001 podendo ser rejeitada a hipótese nula (Ho) confirmando que existe uma diferença entre antes e depois da ação implementada, podendo estar 95% confiantes que a real diferença será entre 0,17% e 0,18%.

A ação #2 não foi implementada uma vez que não se provou estatisticamente ser uma causa.

Para a ação #3 foi feita uma ajuda visual e dada formação sobre a verificação do tipo de defeito, bem como o porquê da eliminação do defeito de fora de especificação, e criação dos defeitos de placa dobrada fornecedor e falta de cercadura fornecedor. Para comprovar a eficácia da ação foi feito novo mas, mas desta vez apenas entre 2 operadores do processo de armar jogos. Os resultados obtidos foram os seguintes:

- Cada operador: Existe uma consistência no operador 1 e 2 de 100% cada;
- Cada operador vs *standard*: Operador 1 tem uma avaliação consistente em 90% e o operador 2 em 93,33% respetivamente com o *standard*;
- Entre operadores: 96,67% entre operadores;
- Todos os operadores vs *standard*: 90% de concordância.

Os resultados do MSA confirmam que existe uma consistência de critério entre operadores e o *standard*.

Em relação à ação #4 foi elaborada uma ordem de manutenção preventiva mensal para limpeza e lubrificação das molas da nora de alinhamento de jogos, e também para verificar a espessura e alinhamento do tapete de vácuo. Esta ação ficou provada a sua eficiência na prova de causa #3.

A ação #5 passou por elaborar uma etiqueta de pesagem com identificação da origem, tipo, peso de sucata e registo no I SPC propriedade da empresa ABC. Esta etiqueta acompanha o caldeiro onde foi colocada a sucata até ao parque de sucata.

Em relação aos índices definidos no início do projeto que serviram de base de partida os novos resultados são os seguintes, estando os restantes expressos nos Anexos 7, 8 e 9.

<p><b>Business Y's:</b></p> <p>By1 – Custo de sucata por semana (€) By2 – Rejeição de placas por turno (un)</p>	<p><b>Depois</b> 727€ (332€ + 395€) 44,8un / 48,6un / 38,1un</p>
<p><b>Customer Y's:</b></p> <p>Cy1 – Baterias com defeitos (%) Cy2 – Custo de retrabalho (€)</p>	<p><b>Depois</b> 0,1360% 2182€</p>
<p><b>Process Y's:</b></p> <p>Py1 – Proporção defeito placa dobrada (%) Py2 – Proporção defeito fora especificação (%)</p>	<p><b>Depois</b> 0,192% 0,276% (dois novos defeitos fornecedor)</p>

No final da implementação das ações o Custo de Má Qualidade (COPQ) foi de 45.047€ em *hard savings* (placas sucata) e de 2.182€ em *soft savings* (procedimentos de limpeza devido a sucata e identificação incorreta de defeito). Resultando numa poupança real de 45.743€ em *hard savings* e de 1.334€ em *soft savings*.

## 4.5. Controlar (Control)

O último passo na metodologia DMAIC diz respeito à fase de controlo. Neste caso passa pela atualização do plano de controlo existente na empresa ABC por forma a garantir que as ações conseguidas são alvo de seguimento e controlo. O novo plano pode ser consultado na

Tabela IV:

Tabela IV – Plano de Controlo

Nome do Processo	Características			Especificação/Requisito	Avaliação/ Medição	Métodos				Ação Corretiva
	Nº	Produto	Processo			Amostragem			Método Control	
						Tam.	Freq.	Resp.		
Linha de Montagem Máquina de Armar Jogos	1	Placas Negativas (-) e Placas Positivas (+)	Velocidade da Máquina	Velocidade Máxima 110p/min	Bloqueado pelo PLC	1	-	-	-	Velocidade da Máquina deve estar bloqueada no máximo a 110p/min
	2		Espessura e alinhamento do tapete de vácuo	Mudar se espessura < 2mm	Paquímetro	2 (-) e (+)	De 4 em 4 semanas	Técnico de Manutenção	Ordem de trabalho MEFA-193	Em caso de espessura inferior a 2mm mudar tapete - Alinhar se necessário
	3		Limpeza e lubrificação da mola da nora da máq. De alinhar jogos	-	-	1	De 4 em 4 semanas	Técnico de Manutenção	Ordem de trabalho MEFA-193	Limpar e lubrificar molas da nora de alinhar jogos
	4		Caracterização de Defeitos	Ajuda Visual 6.33.07/74 6.33.07/75	Ajuda Visual	-	-	Operador	Ajuda Visual 6.33.07/74 6.33.07/75	Em caso de defeito de falta de cercadura, sucatar placa e registar no software SPC

Fonte: Elaboração própria

O plano em questão faz parte da Gestão da Qualidade da empresa ABC, sendo revisto periodicamente pelos responsáveis pela Qualidade.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. Conclusões

A metodologia proposta, é uma poderosa ferramenta de análise de processos de fabricação pois permite provar estatisticamente se as melhorias têm um impacto positivo, por comparação entre o antes e o depois de serem implementadas. Um dos objectivos principais focava diretamente na percentagem do valor de sucata, ou seja, a resposta do processo Py1 e Py2, em que, respetivamente, a descida de 0,365% para 0,192% e de 1,306% para 0,276% foi comprovada ser estatisticamente relevante recorrendo ao teste de hipóteses (Anexo 9), onde é analisada a percentagem de defeitos encontrada em baterias, cujo o resultado do P-value, que determina a relevância estatística, foi de 0,02.

Analisando as possíveis causas podemos concluir que o principal problema no processo de armar jogos para baterias estava relacionado com a velocidade do tapete da máquina. A percentagem de defeituosos para a velocidade de 116p/min é significativamente diferente da percentagem de defeituosos para a velocidade a 110p/min, como o valor do P-value  $< 0,001$  comprova (Tabela I).

Não menos importante em termos de principal causa era a prisão que se verificava na nora da máquina onde se obteve também um P-value  $< 0,001$ . De referir igualmente, pelo facto de se ter comprovado estatisticamente que não era relevante, é o funcionamento a diferentes pressões de vácuo, ou seja, o funcionamento a 25mBar ou a 35mBar não tem impacto na percentagem de sucata gerada uma vez que se obteve um P-value =1 (Tabela I).

Os resultados obtidos fizeram com que as ações fossem direcionadas para os pontos estatisticamente responsáveis pela sucata gerada. Desta forma as principais ações foram aplicar uma solução *poke-yoke* na velocidade do tapete bloqueando no autómato a possibilidade de se introduzir uma velocidade superior a 110p/min. Uma vez mais a estatística

prova a diferença entre o antes e o depois da ação implementada uma vez que o P-value obtido foi  $<0,001$  (Anexo 5).

Igualmente importante foi incluir no plano de manutenção preventiva a necessidade de trimestralmente se efetuar a lubrificação e limpeza das molas da nora da máquina, e a necessidade de se verificar a espessura do tapete da máquina de armar jogos.

Respondendo agora à pergunta de pesquisa deste projeto, podemos então concluir que as alterações efectuadas no processo e/ou máquinas são estatisticamente relevantes na redução de sucata, tendo havido uma melhoria significativa quando comparados os valores antes e depois das ações implementadas.

### 5.2. *Aspetos a melhorar*

Como podemos verificar nos primeiros resultados do MSA a caracterização do defeito não era consistente entre os operadores e o *standard*. Neste caso os operadores envolvidos no estudo eram operadores experientes, o que torna mais evidente a falta de formação e informação no posto de trabalho. Mais preocupante será no caso de os operadores serem novos ou temporários, neste caso um dos aspetos a melhorar será a formação *hands on job* dos operadores, sobre como caracterizarem corretamente os defeitos.

### 5.3. *Limitações*

Uma das limitações do projeto foi a necessidade de ser ocultada a verdadeira identidade da empresa, sendo que a mais importante esteve relacionada com o sigilo exigido pela empresa em estudo referente a alguns dados a apresentar.

Outra limitação do projeto, de cariz mais processual, prende-se com facto de estarmos limitados à disponibilidade da produção em nos disponibilizar máquinas e pessoas para a realização dos estudos necessários. Por este motivo este trabalho enquanto projeto, teve uma duração de 6 meses, quando o aconselhável para projetos *Six Sigma* são 3 meses.

#### 5.4. *Recomendações*

Depois do projeto concluído para uma máquina específica da linha de montagem, recomenda-se o mesmo estudo para as outras linhas, para avaliar a possibilidade da implementação de melhorias semelhantes nessas máquinas.

Uma vez que a empresa ABC pertence a um grupo multinacional, seria igualmente interessante a partilha dos resultados obtidos pelas restantes empresas, uma vez que poderão ter problemas idênticos aos analisados.

#### 5.5. *Nota Final*

Este trabalho pretendia demonstrar estatisticamente que alterações ao processo e/ou máquinas iriam reduzir o nível de sucata da empresa ABC. Utilizando as ferramentas *Lean-Six Sigma*, e seguindo todo o processo da metodologia DMAIC passo por passo, o projeto foi evoluindo e os resultados obtidos. O interesse e envolvimento por parte da gestão de topo e do *Master Black Belt* contribui para manter o empenho na procura do sucesso do projeto. Os resultados obtidos demonstram as melhorias, podendo-se no entanto acrescentar que o processo foi melhorando ao longo do tempo, verificando-se esforços para uma melhoria contínua, sendo os resultados atuais ainda mais significativos que os apresentados neste TFM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1994). *NBR ISO 8402:1994 Gestão da Qualidade e Garantia de Qualidade – Terminologia*. São Paulo: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Alhuraish, I., Robledo, C., & Kobi, A. (2017). A Comparative Exploration Of Lean Manufacturing And Six Sigma In Terms Of Their Critical Success Factors. *Journal Of Cleaner Production*, 164, 325-337.

Antony, J., & Banuela, R. (2002). Key Ingredients For The Effective Implementation Of Six Sigma Program. *Measuring Business Excellence*, 6(4), 20-27.

Antony, J., & Taner, T. (2003). A Conceptual Framework For The Effective Implementation Of Statistical Process Control. *Business Process Management Journal*, 9(4), 473-489.

Allen, T. T. (2006). *Introduction to Engineering Statistics and Six Sigma: Statistical Quality Control and Design os Experiments and Systems*. London: Springer-Verlag.

Black, K. (2010). *Business Statistics: For Contemporary Decision Making*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Breyfogle III, F. W. (2003). *Implementing Six Sigma*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Castro, R. A. (2012). *Lean Six Sigma Para Qualquer Negócio*. Lisboa: IST Press.

Costa, T., Silva, F. J. G., & Ferreira, L. (2017). Improve The Extrusion Process In tire Production Using Six Sigma Methodology. *Procedia Manufacturing*, 13, 1104-1111.

Dahlgaard, J., & Dahlgaard-Park, S. M. (2006). Lean Production, Six Sigma Quality, TQM And Company Culture. *The TQM Magazine*, 18(3), 263-281.

Drohomeretski, E., Costa, S., Lima E., & Garbuio, P. (2014). Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: An Analysis Based On Operations Strategy. *International Journal of Production Research*, 52(3), 804-824.

George, L. L. (2002). *Lean Six Sigma – Combining Six Sigma Quality With Lean Production Speed*. Dallas: McGraw-Hill.

Hahn, G. J., Hill, J. H., Hoerl, R. V., Zinkgraf, S. A. (1999). The Impact of Six Sigma Improvement - A Glimpse Into The Future of Statistics. *The American Statistician*, 53(3), 208-215.

Henderson, G. R. (2011), *Six Sigma Quality Improvement With Minitab*. Chichester: John Wiley & Sons, Inc.

Huang, C., Yeh, T., Lin, W., & Lee, B. (2009). A Fuzzy AHP-based Performance Evaluation Model For Implementing SPC in The Taiwanese LCD Industry. *International Journal of Production Research*, 47(18), 5163-5183.

Jevgeni, S., Eduard, S., & Roman, Z. (2015). Framework for Continuous Improvement of Production Processes and Product Throughput. *Procedia Engineering*, 100, 511-519.

Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's Quality Handbook*. Dallas: McGraw-Hill.

Mcarthy, T., Bremer, M., Daniels, L., & Gupta, P. (2004). *The Six Sigma Black Belt Handbook*. Dallas: McGraw-Hill.

Menezes, L., Wood, S., & Gelade, G. (2010). The Integration Of Human Resource And Operation Management Practices And Its Link With Performance: A Longitudinal Latent Class Study. *Journal of Operations Management*, 28(6), 455-471.

Orbak, Â. Y. (2012). *Shell Scrap Reduction of Foam Production and Lamination Process in Automotive Industry*. Bursa: Routledge.

Prabhushankar, G., Devadasan, S., Shalij, P., & Thirunavukkarasu, V. (2008). The origin, history and definition of Six Sigma: A literature review. *International Journal Of Six Sigma And Competitive Advantage*, 4(2), 133-150.

Pyzdek, T. (2003a). *The Six Sigma Handbook*. Dallas: McGraw-Hill.

Pyzdek, T. (2003b). *The Six Sigma Project Planner*. Dallas: McGraw-Hill.

Quinello, R. (2006). Processo de Institucionalização do Seis Sigma em uma Empresa Automobilística. *Revista de Administração Mackenzie*, 7(3), 148-178.

Sabet, E., Adams, E., & Yazdani, B. (2016). Quality Management In Heavy Duty Manufacturing Industry: TQM vs. Six Sigma. *Total Quality Management & Business Excellence*, 27(1-2), 215-225.

Simanová, L. (2015). Specific Proposal Of The Application And Implementation Six Sigma In Selected Processes Of Furniture Manufacturing. *Procedia Economics and Finance*, 34, 268-275.

Soares, J. M. (1994). *A Qualidade nos Serviços em Portugal – Ponto da Situação nos Setores Bancário e Segurador*. Dissertação para obtenção para Grau de Mestre (não publicada), Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade de Lisboa, Lisboa.

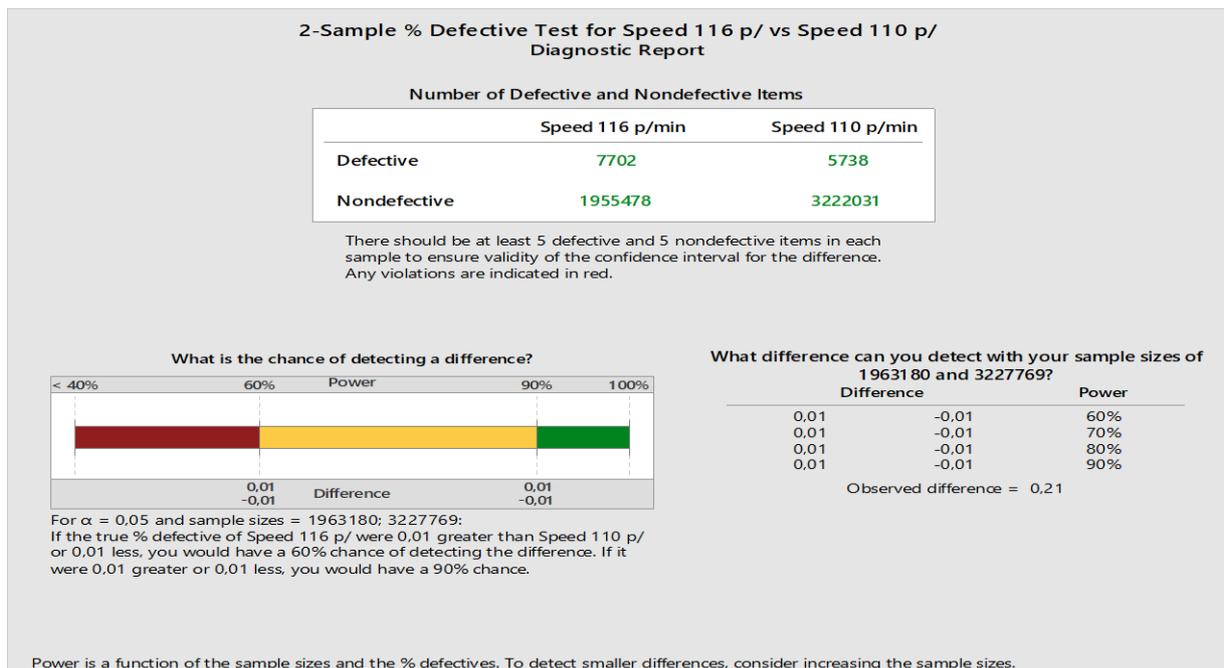
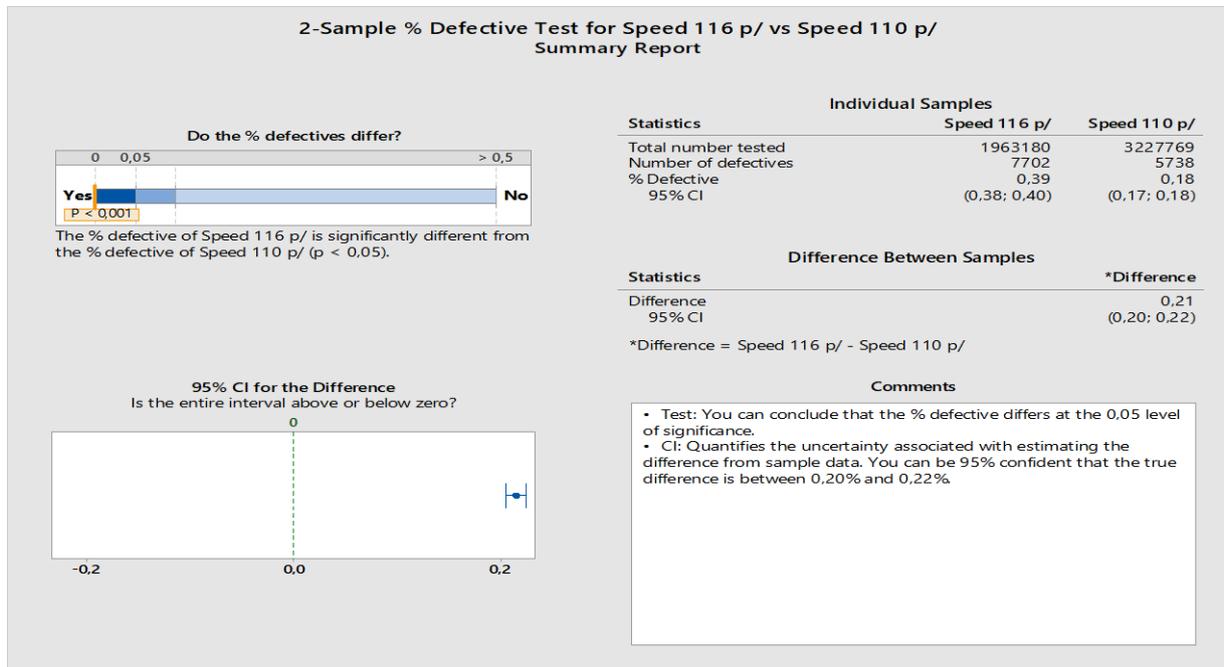
Soares, J. M. (2003). *A Study of the Influence of Cultural Differences on Perceptions of Quality in Retail Banking in England, Portugal and Spain*. PhD dissertation (unpublished), Kent Business School, University of Kent, Kent.

Snee, R. D. (2004). Six-Sigma: The Evolution of 100 Years of Business Improvement Methodology. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 1(1), 4-20.

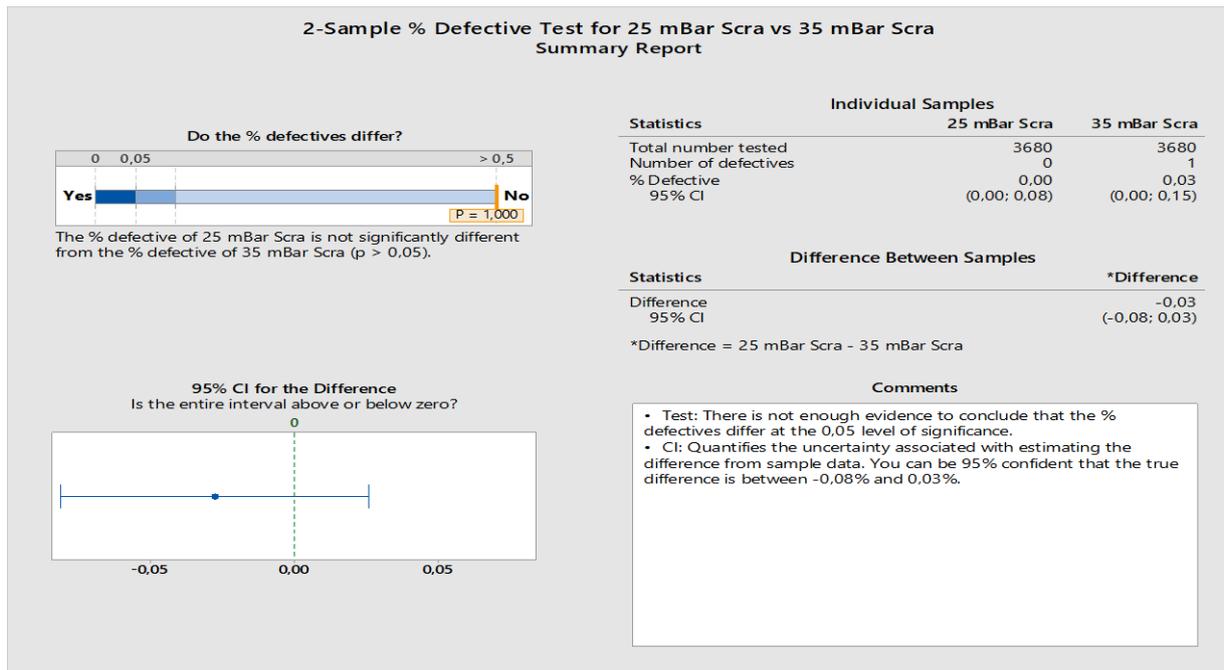
Tanik, M., & Sen, A. (2012). A Six Sigma Case in a Large-Scale Automotive Supplier Company in Turkey. *Total Quality Management & Business Excellence*, 23(3-4), 343-358.

ANEXOS

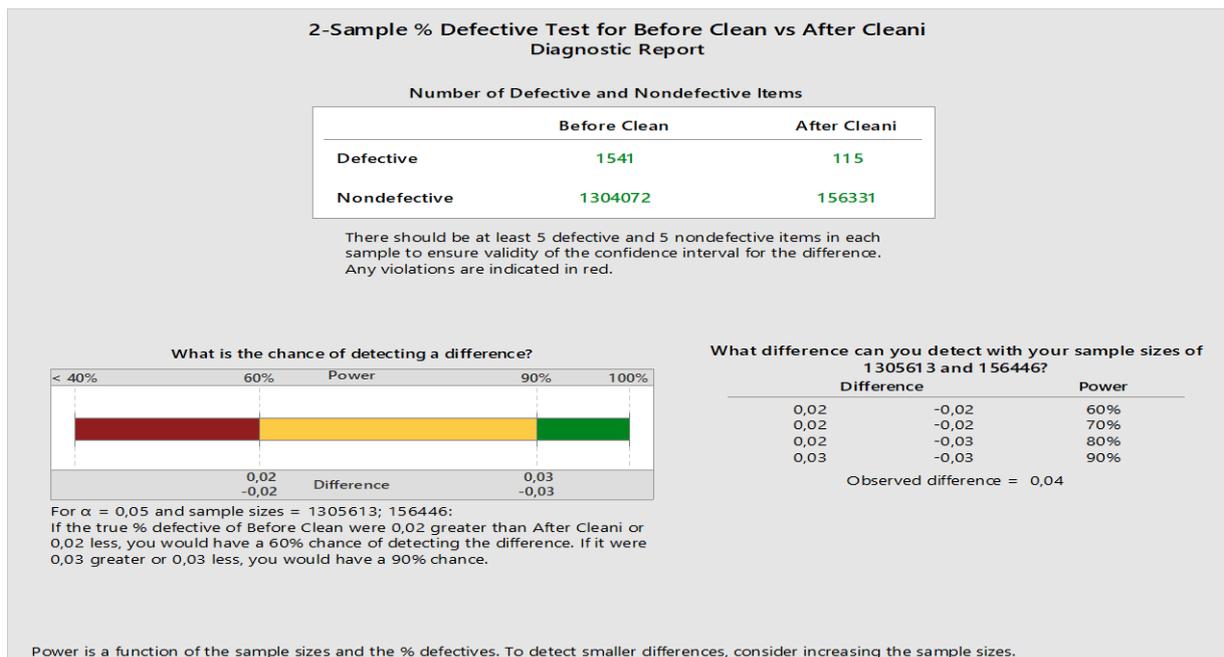
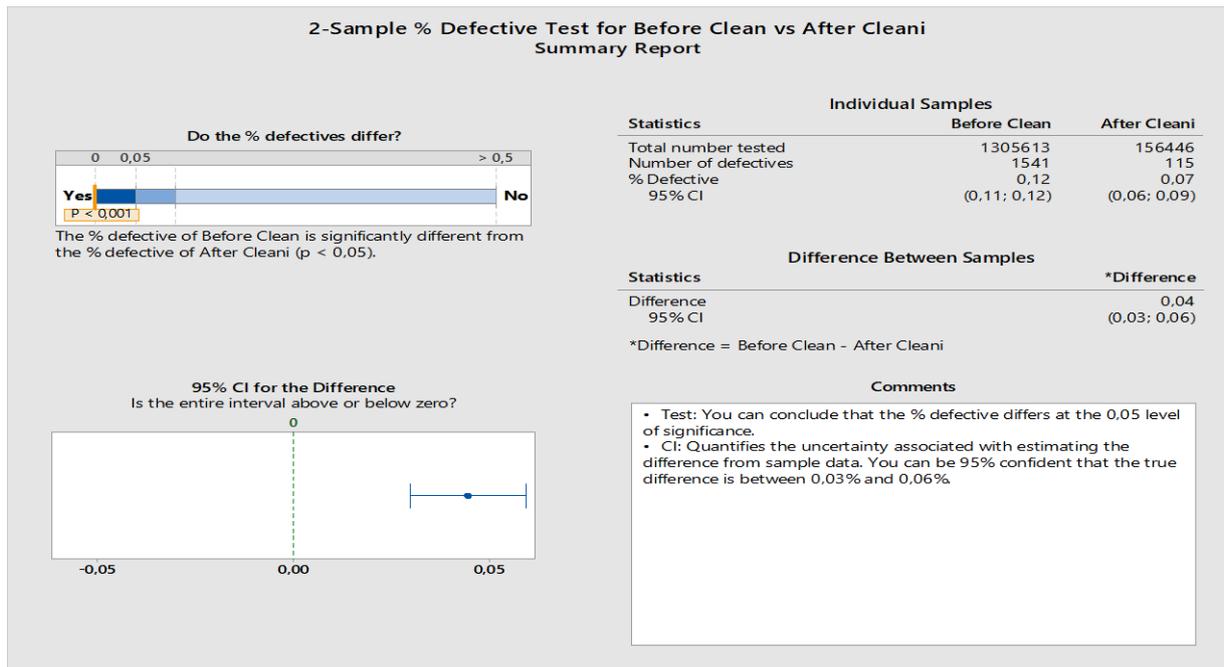
Anexo 1 – Prova de causa #1



Anexo 2 – Prova de causa #2



Anexo 3 – Prova de causa #3



Anexo 4 – Prova de causa #4

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Assembly 1	30	23	76,67	(57,72; 90,07)
Assembly 2	30	30	100,00	(90,50; 100,00)
Fasting	30	29	96,67	(82,78; 99,92)

# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Assembly 1	Bended CONFAST	0,81366	0,182574	4,4566	0,0000
	Good	0,66630	0,182574	3,6495	0,0001
	Lack of Paste CONFAST	1,00000	0,182574	5,4772	0,0000
	Lack of Squareness CONFAST	-0,09091	0,182574	-0,4979	0,6907
	Process Bended LINE 3	-0,03448	0,182574	-0,1889	0,5749
Overall	0,65489	0,110375	5,9333	0,0000	
Assembly 2	Bended CONFAST	1,00000	0,182574	5,4772	0,0000
	Good	1,00000	0,182574	5,4772	0,0000
	Lack of Paste CONFAST	1,00000	0,182574	5,4772	0,0000
	Lack of Squareness CONFAST	1,00000	0,182574	5,4772	0,0000
	Process Bended LINE 3	1,00000	0,099060	10,0949	0,0000
Overall	1,00000	0,099060	10,0949	0,0000	
Fasting	Bended CONFAST	0,91792	0,182574	5,0277	0,0000
	Good	1,00000	0,182574	5,4772	0,0000
	Lack of Paste CONFAST	1,00000	0,182574	5,4772	0,0000
	Lack of Squareness CONFAST	0,88868	0,182574	4,8675	0,0000
	Process Bended LINE 3	*	*	*	*
Overall	0,95395	0,108973	8,7540	0,0000	

\* When no or all responses across trials equal the value, kappa cannot be computed.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Assembly 1	30	20	66,67	(47,19; 82,71)
Assembly 2	30	27	90,00	(73,47; 97,89)
Fasting	30	24	80,00	(61,43; 92,29)

# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Assembly 1	Bended CONFAST	0,79704	0,129099	6,1739	0,0000
	Good	0,69254	0,129099	5,3644	0,0000
	Lack of Paste CONFAST	1,00000	0,129099	7,7460	0,0000
	Lack of Squareness CONFAST	0,33455	0,129099	2,5914	0,0448
	Process Bended LINE 3	0,21196	0,129099	1,6418	0,0503
Overall	0,67749	0,070609	9,5950	0,0000	
Assembly 2	Bended CONFAST	0,88868	0,129099	6,8837	0,0000
	Good	0,92674	0,129099	7,1785	0,0000
	Lack of Paste CONFAST	1,00000	0,129099	7,7460	0,0000
	Lack of Squareness CONFAST	0,88868	0,129099	6,8837	0,0000
	Process Bended LINE 3	0,51482	0,129099	3,9878	0,0000
Overall	0,86994	0,067515	12,8851	0,0000	
Fasting	Bended CONFAST	0,66637	0,129099	5,1616	0,0000
	Good	0,78022	0,129099	6,0436	0,0000
	Lack of Paste CONFAST	1,00000	0,129099	7,7460	0,0000
	Lack of Squareness CONFAST	0,94434	0,129099	7,3148	0,0000
	Process Bended LINE 3	-0,09091	0,129099	-0,7042	0,7593
Overall	0,73732	0,069024	10,6821	0,0000	

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	21	70,00	(50,60; 85,27)

# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Bended CONFAST	0,83500	0,0471405	17,7131	0,0000
Good	0,77416	0,0471405	16,4225	0,0000
Lack of Paste CONFAST	1,00000	0,0471405	21,2132	0,0000
Lack of Squareness CONFAST	0,69549	0,0471405	14,7535	0,0000
Process Bended LINE 3	0,37931	0,0471405	8,0464	0,0000
Overall	0,80087	0,0269928	29,6696	0,0000

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

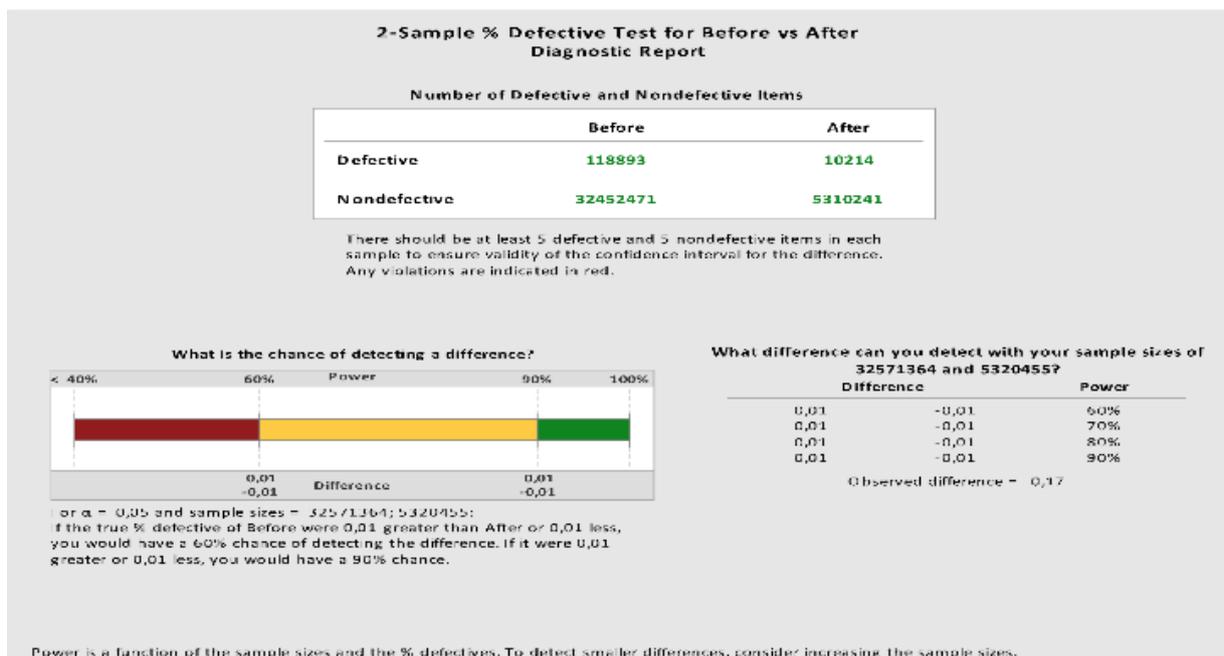
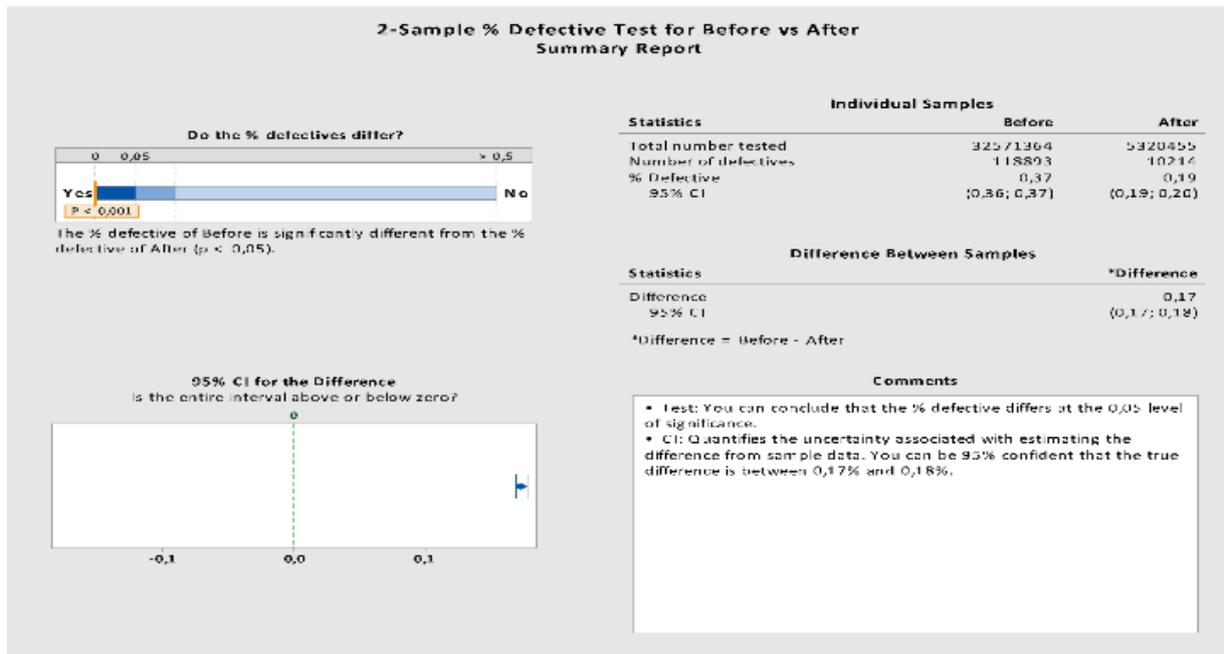
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	19	63,33	(43,86; 80,07)

# Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Bended CONFAST	0,78403	0,0745356	10,5189	0,0000
Good	0,79983	0,0745356	10,7309	0,0000
Lack of Paste CONFAST	1,00000	0,0745356	13,4164	0,0000
Lack of Squareness CONFAST	0,72252	0,0745356	9,6937	0,0000
Process Bended LINE 3	0,21196	0,0745356	2,8437	0,0022
Overall	0,76158	0,0398723	19,1006	0,0000

Anexo 5 – Prova de ação #1



Anexo 6 – Prova de ação #3

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Assembly 1	30	30	100,00	(90,50; 100,00)
Assembly 2	30	30	100,00	(90,50; 100,00)

# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Assembly 1	Bended CONFAST	1	0,182574	5,4772	0,0000
	Good	1	0,182574	5,4772	0,0000
	Lack of Paste CONFAST	1	0,182574	5,4772	0,0000
	Lack of Squareness CONFAST	1	0,182574	5,4772	0,0000
	Process Bended LINE 3	1	0,182574	5,4772	0,0000
Overall		1	0,099060	10,0949	0,0000
Assembly 2	Bended CONFAST	1	0,182574	5,4772	0,0000
	Good	1	0,182574	5,4772	0,0000
	Lack of Paste CONFAST	1	0,182574	5,4772	0,0000
	Lack of Squareness CONFAST	1	0,182574	5,4772	0,0000
	Process Bended LINE 3	1	0,182574	5,4772	0,0000
Overall		1	0,096836	10,3267	0,0000

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Assembly 1	30	27	90,00	(73,47; 97,89)
Assembly 2	30	28	93,33	(77,93; 99,18)

# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Assembly 1	Bended CONFAST	0,88868	0,129099	6,8837	0,0000
	Good	0,92674	0,129099	7,1785	0,0000
	Lack of Paste CONFAST	0,88868	0,129099	6,8837	0,0000
	Lack of Squareness CONFAST	1,00000	0,129099	7,7460	0,0000
	Process Bended LINE 3	0,51482	0,129099	3,9878	0,0000
Overall		0,86994	0,067515	12,8851	0,0000
Assembly 2	Bended CONFAST	0,88868	0,129099	6,8837	0,0000
	Good	0,92674	0,129099	7,1785	0,0000
	Lack of Paste CONFAST	1,00000	0,129099	7,7460	0,0000
	Lack of Squareness CONFAST	1,00000	0,129099	7,7460	0,0000
	Process Bended LINE 3	0,71154	0,129099	5,5116	0,0000
Overall		0,91348	0,067174	13,5987	0,0000

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	29	96,67	(82,78; 99,92)

# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Bended CONFAST	1,00000	0,0745356	13,4164	0,0000
Good	1,00000	0,0745356	13,4164	0,0000
Lack of Paste CONFAST	0,92579	0,0745356	12,4208	0,0000
Lack of Squareness CONFAST	1,00000	0,0745356	13,4164	0,0000
Process Bended LINE 3	0,85455	0,0745356	11,4649	0,0000
Overall	0,97065	0,0399091	24,3216	0,0000

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

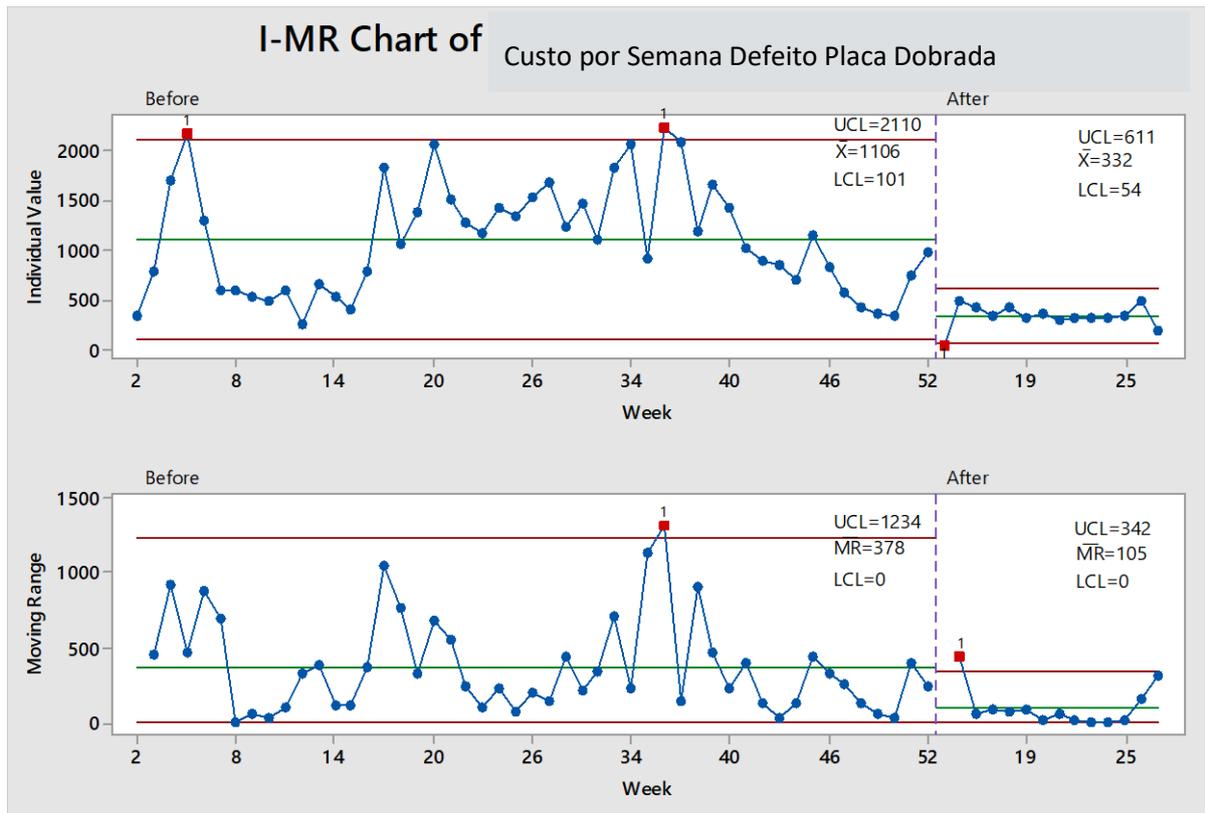
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	27	90,00	(73,47; 97,89)

# Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

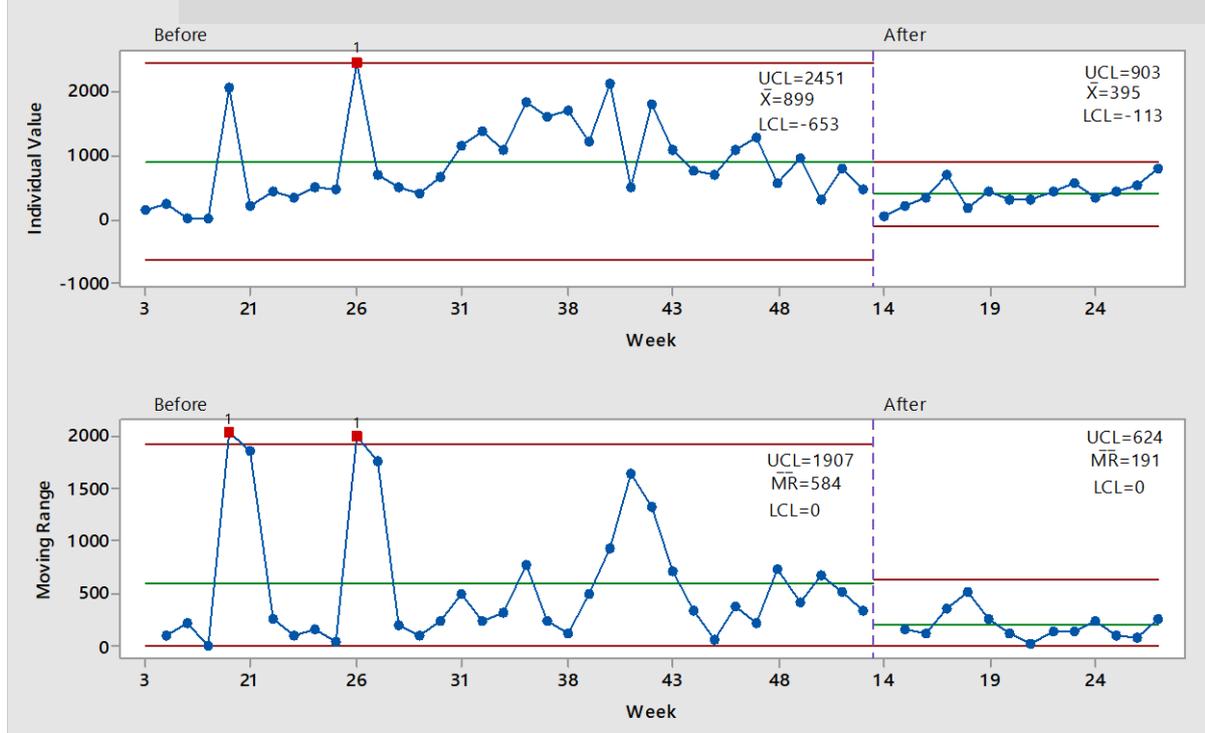
Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Bended CONFAST	0,88868	0,0912871	9,7350	0,0000
Good	0,92674	0,0912871	10,1519	0,0000
Lack of Paste CONFAST	0,94434	0,0912871	10,3447	0,0000
Lack of Squareness CONFAST	1,00000	0,0912871	10,9545	0,0000
Process Bended LINE 3	0,61318	0,0912871	6,7171	0,0000
Overall	0,89171	0,0476202	18,7255	0,0000

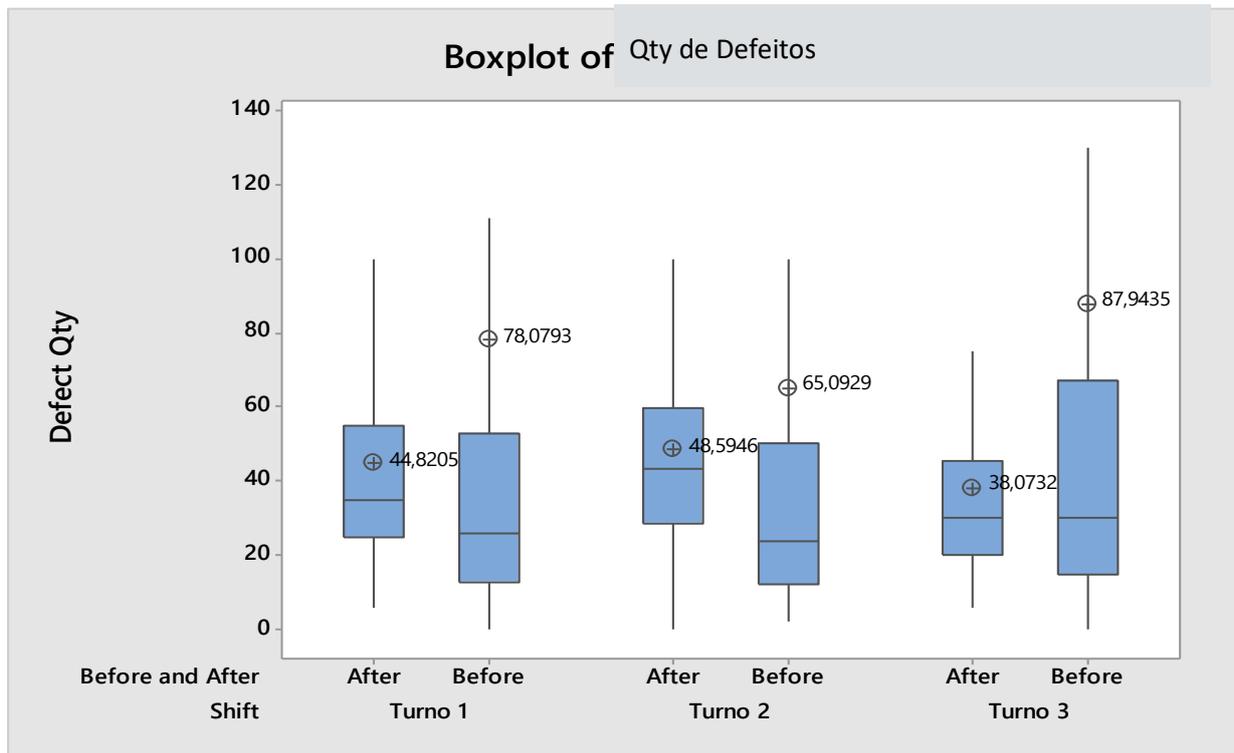
Anexo 7 – Melhoria By1



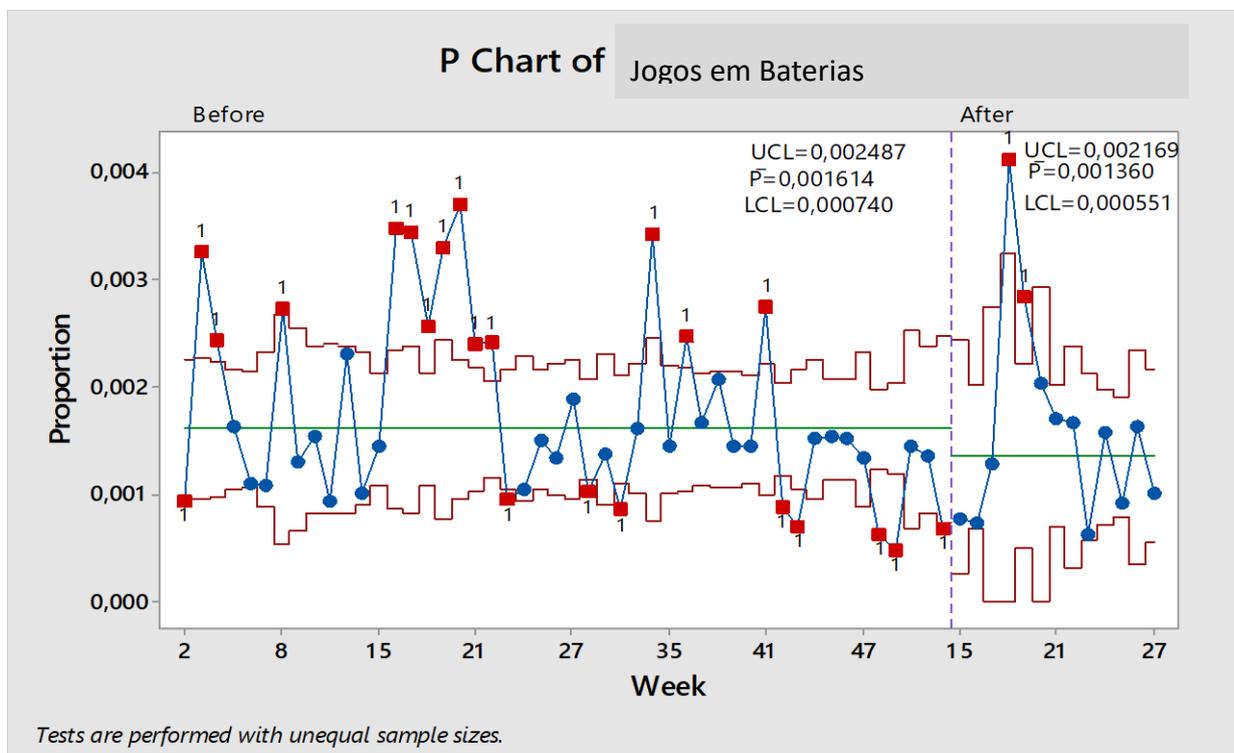
### MR Chart of Custo por Semana Defeito Placa Dobrada Fornecedor e Falta de Cercadura Fornecedor



Anexo 8 – Melhoria By2



Anexo 9 – Melhoria Cyl



**Test Plan**

To measure if proportion of defected batteries on COS is statistically significant using a 2 Proportion test

Null and Alternative Hypothesis

**H<sub>0</sub>:** Proportion defected batteries on COS before

=

Proportion defected batteries on after

**H<sub>1</sub>:** Proportion defected batteries on COS before

≠

Proportion defected batteries on after

**Test and CI for Two Proportions**

Sample	X	N	Sample p
1 (Before)	3217	1993736	0,001614
2 (After)	311	228747	0,001360

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0,000253973

95% CI for difference: (0,0000930228; 0,000414923)

Test for difference = 0 (vs ≠ 0): Z = 3,09 P-Value = 0,002

Fisher's exact test: P-Value = 0,004