

ISQ & 6σ LEAN

Aplicação da metodologia Lean Six Sigma (DMAIC) em Laboratórios de Metrologia acreditados ISO/IEC 17025:2005

O caso do Instituto de Soldadura e Qualidade, ISQ

Sara Margarida Moreira Tomás

Dissertação de Mestrado para obtenção do Grau de Mestre em:
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadores:

Prof. Fernando Henrique De Carvalho Cruz

Prof. Luís Manuel De Jesus Sousa Correia

Júri

Presidente: Paulo Vasconcelos Dias Correia

Orientador: Fernando Henrique De Carvalho Cruz

Vogal: João Carlos da Cruz Lourenço

Novembro de 2018

Declaro que este documento é original e da minha autoria, e que satisfaz todos os requisitos do código de conduta e de boas práticas da *Universidade de Lisboa*.

Agradecimentos

O primeiro agradecimento é feito ao Professor Luís Correia e ao Professor Fernando Cruz, por terem aceite orientar a minha Dissertação de Mestrado, e pelo acompanhamento constante, mostrando-se sempre disponíveis para ajudar, e procurando potenciar o resultado final desta Dissertação.

Agradeço, de seguida, ao Eng.º Marco Ferra, por ter aceite ser meu orientador no Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), por me ter auxiliado na escolha do tema e por toda a ajuda fornecida e tempo despendido, para me receber em horário de expediente. O agradecimento estende-se também ao Eng.º Jorge Silva, responsável técnico do laboratório Elétrico e de Radiofrequência, pela sua disponibilidade e cooperação durante a implementação da Metodologia *Lean* e *Seis Sigma*, no seu laboratório. E também a todos os técnicos que durante a elaboração deste projeto, permitiram a minha presença no laboratório, para recolha presencial, de dados indispensáveis para a concretização desta Dissertação.

E por fim, agradeço a todos aqueles que contribuíram, direta e indiretamente, para a conclusão deste projeto, família e amigos.

Abstract

The DMAIC (Define-Measure-Analyse-Improve-Control) methodology is generally described as a methodology for solving problems and improving standardized processes. The improvement due to competitiveness in companies is increasingly for those who wish to remain strong in the market where they belong. For this approach's methodologies such as Lean and Six Sigma, bring quality improvement proposals based on the objectives sought by the companies. This Master's Dissertation aims to apply the Lean Six Sigma methodology, following the DMAIC methodology, in the Electrical and Radiofrequency Laboratory of the ISQ of Lisbon. The business area of this laboratory focuses on the calibration and certification of electrical equipment. With this methodology it is intended to reduce wastes from the Lean perspective, within the main process in the laboratory, the calibration. For this, this process will be observed, understood, analysed and later we will be able to identify possible bottlenecks in the process. The main waste identified was the movement of the technician during the calibration, which through some changes in the layout of the laboratory, it was possible to reduce the calibration time, giving the possibility to make another 287 calibrations per year of the electrical equipment studied.

Keywords

Lean, Six Sigma, Continuous Improvement, Quality, Metrology.

Resumo

A metodologia DMAIC (*Define-Measure-Analyse-Improve-Control*) é geralmente descrita como uma metodologia de resolução de problemas e melhoria de processos standardizados. A melhoria em função da competitividade nas empresas é cada vez mais uma realidade para aquelas que desejam continuar a ser fortes no mercado onde se inserem. Para isso abordagens como as metodologias *Lean* e a *Six Sigma*, trazem propostas de melhoria da qualidade com base em objetivos pretendidos pelas empresas. Esta Dissertação de Mestrado, tem como objetivo a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*, seguindo a metodologia DMAIC, no laboratório Elétrico e de Radiofrequência do ISQ de Lisboa. A área de negócio deste laboratório foca-se na calibração e certificação de equipamentos elétricos. Com esta metodologia pretende-se reduzir desperdícios da perspetiva *Lean*, dentro do principal processo existente no laboratório, a calibração. Para isso este processo foi observado, entendido, analisado e posteriormente foram identificados possíveis estrangulamentos do processo. O principal desperdício identificado, foi o movimento do técnico durante a calibração, que através de algumas alterações no layout do laboratório, foi possível reduzir o tempo da calibração dando margem para fazer mais 287 calibrações por ano, do equipamento elétrico estudado.

Palavras-chave

Lean, Seis Sigma, Melhoria Contínua, Qualidade, Metrologia.

Índice

Agradecimentos.....	v
Abstract	vii
Resumo	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
<i>Glossário e Acrônimos</i>	xvii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	2
1.2 O Instituto de Soldadura e Qualidade	2
1.3 Breve descrição do problema.....	4
1.4 Motivações e Objetivos	5
1.5 Metodologia.....	6
1.6 Estrutura	7
2 Estado da Arte	9
2.1 <i>Lean</i>	10
2.1.1 Introdução.....	10
2.1.2 Ferramentas <i>Lean</i>	12
2.1.2.1 5S.....	12
2.1.2.2 <i>Diagrama de Causa-Efeito</i>	13
2.1.2.3 <i>Poka-yoke</i>	13
2.1.2.4 <i>Value Stream Mapping</i>	14
2.1.2.5 <i>Cinco Porquês (5W)</i>	14
2.2 <i>Six Sigma</i>	15
2.2.1 Introdução.....	15
2.2.2 Ferramentas e Metodologias.....	17
2.2.2.1 <i>DMAIC</i>	17
2.2.2.1.1 <i>Define</i>	17
2.2.2.1.2 <i>Measure</i>	17
2.2.2.1.3 <i>Analyse</i>	18
2.2.2.1.4 <i>Improve</i>	18
2.2.2.2 <i>SIPOC</i>	19
2.3 <i>Lean Six Sigma</i>	20
2.3.1 Introdução.....	20
2.3.2 Fatores críticos para o sucesso.....	21
2.3.3 Casos práticos	21
2.4 Conclusões.....	23
3 Projeto LSS no ISQ.....	25
3.1 Introdução.....	26
3.2 <i>DMAIC</i>	29
3.2.1 <i>Define</i>	29
3.2.2 <i>Measure</i>	31
3.2.2.1 <i>Recolha de dados através do sistema interno, LabMetro</i>	32
3.2.2.2 <i>Análise do desempenho histórico do laboratório</i>	34
3.2.2.3 <i>Recolha de dados presencialmente</i>	34
3.2.2.4 <i>Diagrama Causa-Efeito</i>	37
3.2.2.5 <i>Recolha de dados através dos técnicos</i>	38
3.2.2.6 <i>DPMO e Nível Sigma</i>	38
3.2.3 <i>Analyse</i>	39
3.2.3.1 <i>Análise do desempenho histórico do laboratório</i>	39
3.2.3.2 <i>Recolha de dados presencialmente</i>	41
3.2.3.2.1 <i>Análise dos dados</i>	41
A. <i>BoxPlot</i>	43
B. <i>Cartas de Controlo</i>	44
C. <i>Ajustamento dos dados a uma distribuição teórica</i>	48

3.2.3.2.2	Observações.....	52
3.2.3.3	Recolha de dados através dos técnicos.....	57
3.2.4	Improve.....	59
3.2.4.1	Proposta de Melhoria.....	59
3.2.4.2	Implementação da proposta.....	62
3.2.4.3	Teste-Piloto.....	63
3.2.4.3.1	Diagrama Spaghetti.....	63
3.2.4.3.2	BoxPlot.....	64
3.2.4.3.3	Teste de normalidade.....	65
3.2.4.3.4	DPMO e Nível Sigma.....	65
3.2.4.4	Conclusões.....	65
3.2.5	Control.....	66
3.3	Conclusões.....	67
4	Conclusões.....	69
Anexo A – Processos e Estrutura do ISQ.....		75
Anexo B – Projeto Lean Six Sigma.....		79
Referências.....		89

Lista de Figuras

Figura 1 – Locais onde o ISQ está presente (ISQ, 2015)	3
Figura 2 – Diagrama de Estados e Circuitos 1 e 2 (Ferra, 2017)	4
Figura 3 – Etapas da metodologia desta Dissertação	6
Figura 4 – Os cinco S's(adoto de Imai, 2008)	12
Figura 5 – Exemplo de um Diagrama Causa-Efeito (Pinto, 2016)	13
Figura 6 – Etapas do mapeamento do fluxo de valor (Imai, 2008)	14
Figura 7 – Distribuição normal e os níveis sigma (Pinto, 2016)	16
Figura 8 – Escala Sigma (Linderman, 2003)	16
Figura 9 – Fases da DMAIC (Rotondaro, 2002)	17
Figura 10 – Planta do Laboratório Elétrico e de Rádio Frequência	28
Figura 11 – DCA do processo de calibração	31
Figura 12 – Sistema interno (Fonte: Sistema interno do Labmetro)	32
Figura 13 – Exemplo de um histórico de estados (Fonte: Sistema Interno do Labmetro)	33
Figura 14 – Modelo para recolha dos tempos de calibração	34
Figura 15 – Exemplo de uma matriz, onde os técnicos colocam os valores observados no equipamento	35
Figura 16 – Observações recolhidas (Tabela completa Figura B.6 na página 85)	36
Figura 17 – Caracterização dos tipos de ocorrências, durante a calibração	36
Figura 18 – Diagrama Spaghetti do Posto 1	37
Figura 19 – Diagrama Spaghetti do Posto 2	37
Figura 20 – Diagrama de Causa-Efeito, aumento do tempo de 57% das calibrações de multímetros.	37
Figura 21 – Parte da folha entregue aos técnicos para preenchimento	38
Figura 22 – Média da percentagem de calibrações dos equipamentos em estudo (Fonte: Excel de apoio à equipa <i>Lean</i>)	39
Figura 23 – Média dos Equipamentos, em estudo, calibrados por trimestre (Fonte: Excel de apoio à equipa <i>Lean</i>)	39
Figura 24 – <i>LeadTime</i> dos Multímetros (2014 a 2017) (Fonte: Excel de apoio à equipa <i>Lean</i>). 40	
Figura 25 – Gráfico desejável do <i>Lead Time</i> dos equipamentos (Fonte: Excel de apoio à equipa <i>Lean</i>)	41
Figura 26 – Distribuição anual e percentual dos multímetros calibrados (Fonte: Excel de apoio à equipa <i>Lean</i>)	41
Figura 27 – Histogramas para várias observações	42
Figura 28 – Amostra dos tempos por ponto, com <i>outliers</i> (em segundos)	43
Figura 29 – Amostra dos tempos por ponto, sem <i>outliers</i> (em segundos)	43
Figura 30 – Cartas de Controlo I-MR dos tempos por ponto	44
Figura 31 – Cartas de Controlo dos tempos por ponto, sem <i>outliers</i>	45
Figura 32 – Cartas de Controlo dos tempos de calibração	46
Figura 33 – Cartas de Controlo dos tempos por ponto, sem <i>outliers</i>	47
Figura 34 – Histogramas dos Tempos recolhidos, sem <i>outliers</i>	48

Figura 35 – Resultados do teste <i>Anderson Darling</i> para os tempos por ponto (Fonte: Programa <i>EasyFit</i>).....	49
Figura 36 – <i>QQ-Plots</i> entre a distribuição da amostra e a distribuições teóricas <i>Generalized Gamma</i> de quatro parâmetros.....	49
Figura 37 – <i>PP-Plots</i> entre a distribuição da amostra e a distribuição teórica <i>Generalized Gamma</i> de quatro parâmetros (Fonte: Programa <i>EasyFit</i>).....	50
Figura 38 – Resultados do teste <i>Anderson Darling</i> para os tempos de calibração (Fonte: Programa <i>EasyFit</i>).....	50
Figura 39 – <i>QQ-Plots</i> entre a distribuição da amostra e a distribuição teórica <i>Error</i>	51
Figura 40 – <i>PP-Plots</i> entre a distribuição da amostra e a distribuição teórica com a <i>Error</i>	51
Figura 41 – Parâmetros das Distribuições escolhidas	52
Figura 42 – À esquerda temos o comportamento dos tempos de calibração e à direita temos o comportamento dos tempos dos tempos por ponto (Fonte: Programa <i>EasyFit</i>)	52
Figura 43 – Resultados do teste à normalidade dos tempos de calibração [Fonte: Programa RStudio]	54
Figura 44 – Resultados do teste à normalidade dos tempos por ponto [Fonte: Programa RStudio]	55
Figura 45 – Calibração da observação cuja identificação é CELE2291/18	56
Figura 46 – Gráfico de Dispersão e resultados da Regressão Linear	57
Figura 47 – Percentagem de multímetros calibrados nas semanas que houve recolha de dados	58
Figura 48 – Percentagem de multímetros calibrados da parte da manhã e da tarde	59
Figura 49 – Planta atual dos postos 1, 2 e 3.....	60
Figura 50 – Proposta da nova planta	60
Figura 51 – Acessórios: 1. Cabos Banana; 2. Cabo de Temperatura; 3. Chave de Fendas; 4. Pilha substituta; 5. Exemplo de um fusível substituto	61
Figura 52 – Antes e depois do novo layout ter sido implementado	62
Figura 53 – Gaveta central	63
Figura 54 – Diagrama <i>Spaghetti</i> dos Posto 1, após melhoria.....	64
Figura 55 – Diagrama <i>Spaghetti</i> do Posto 2, após melhoria	64
Figura 56 – Bloxplot da amostra recolhida na fase <i>Improve</i>	64
Figura 57 – Resultados do teste de normalidade	65
Figura 58 – Sombras, à esquerda é apresentado o posto 1 e à direita o posto 2	67
Figura 59 – Gráficos das diferenças entre o estado do sistema antes e depois do projeto LSS73	
Figura A.1 – Estrutura do LABMETRO, ISQ (2015).....	76
Figura A.2 – Diagrama de Estados e Circuitos (Ferra, 2017)	77
Figura B.1 – <i>Project Charter</i> (1)	80
Figura B.2 – <i>Project Charter</i> (2)	81
Figura B.3 – Calendário do projeto <i>Lean Six Sigma</i> , no ISQ.....	81
Figura B.4 – Exemplo de uma das folhas entregues aos técnicos, para recolha de dados	84
Figura B.5 – Documento excel onde foram colocadas as observações	84
Figura B.6 – Folha excel dos dados com os tempos de calibração.....	85
Figura B.7 – Coluna com os tempos das ocorrências	85
Figura B.8 – Cartas de Controlo dos tempos por ponto, com ordem temporal	87

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Perguntas necessárias para completar o fluxograma SIPOC (Parkash e Kaushik, 2017).....	19
Tabela 2 – Fatores Críticos de Sucesso de acordo com diferentes autores.....	21
Tabela 3 – Lista de equipamentos calibrados de 2014 a 2017.....	26
Tabela 4 – Relação entre Multímetros, Pinças e Scopemeters.....	27
Tabela 5 – Relação entre Medidores de Terra e Mega ohmímetros.....	27
Tabela 6 – Volume de Negócio (VN) e Valor Bruto Anual dos equipamentos em análise.....	28
Tabela 7 – Diagrama SIPOC, 'Calibração dos Equipamentos Escolhidos'.....	30
Tabela 8 – Média dos anos 2016 e 2017, número de calibrações anuais calibrações diárias e VN. (Fonte: Labmetro).....	33
Tabela 9 – Peso de cada tipo de multímetro.....	53
Tabela 10 – Tempo médio por tipo de ocorrência.....	54
Tabela 11 – Influência das ocorrências no tempo de calibração.....	55
Tabela 12 – Percentagem de utilização dos postos para calibração de multímetros.....	58
Tabela 13 – Percentagem de chegada dos quatro tipos de multímetros.....	58
Tabela 14 – Nível Sigma e DPMO do processo, após proposta.....	65
Tabela 15 – Capacidade de calibração antes e depois.....	66
Tabela 16 – Diferença entre o estado inicial e o estado atual.....	66
Tabela B.1 – Número de Equipamentos Calibrados de 2014 a 2017 (1) (Fonte: Excel de Apoio à Equipa <i>Lean</i>).....	82
Tabela B.2 – Número de Equipamentos Calibrados de 2014 a 2017 (2) (Fonte: Excel de Apoio à Equipa <i>Lean</i>).....	83
Tabela B.3 – Distribuições que também podiam ser ajustadas às amostras.....	88

Glossário e Acrónimos

LSS – Lean Six Sigma

5W (5 Whys) – Ferramenta de qualidade que pergunta consecutivamente “porquê” às respostas fornecidas relativas a um problema.

Baseline – Performance de um processo, produto ou serviço, no que diz respeito a uma característica importante para o cliente. A *baseline* serve para comparar o estado atual com o estado futuro na fase Melhoria, após a implementação das ações corretivas e preventivas.

Belt – Pessoa que possui um determinado nível de proficiência em Six Sigma. Os níveis tradicionais são o *green*, o *black* e o *master black belt*.

Brainstorming – técnica que gera um grande número de ideias entre os elementos da equipa.

Champion – é o patrocinador de um projeto de Lean Six Sigma e o seu líder estratégico.

CTQ (*Critical to Quality*) – Algo de muito importante para o cliente. O objetivo de um projeto Lean Six Sigma é garantir e melhorar uma ou mais CTQ.

Defeito – É uma não conformidade numa CTQ e causa sempre insatisfação no cliente. Um defeito pode não ser condição suficiente para o produto ser considerado não conforme, defeituoso ou rejeitado.

DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhoria, Controlo) – metodologia que funciona por projetos e esta orientada para novos produtos.

Lean – Estratégia de negócio com vista à eliminação de qualquer desperdício e, por consequência, à promoção das atividades de valor acrescentado. Conjunto de práticas e ferramentas para aumentar a eficiência de um negócio.

Pull system – sistema de produção que só é acionado quando existe uma encomenda concreta proveniente do processo a jusante em questão.

Push system – sistema de produção que não tem em conta as necessidades explícitas de um processo a jusante e que produz enquanto as condições necessárias para produzir estiverem reunidas.

Seis Sigma – Métrica, metodologia e estratégia de negócio, orientada maioritariamente para a eficácia dos processos, produtos ou serviços.

Stakeholders – alguém que é afetado pela solução do projeto ou alguém necessário para a implementação da solução.

Stock – existência de géneros, quer de matéria-prima para ser transformada quer de produto acabado para ser vendido.

TPM (*Total Productive Maintenance*) – sistema técnico e social desenvolvido pela Toyota e que é definido pelas suas práticas de gestão.

VSM (*Value Stream Mapping*) – mapa explicativo do funcionamento de um processo ou sistema, ao nível do fluxo do produto e da informação que corre entre áreas.

VOB (*Voice of Business*) – Standards, exigências, parâmetros e regras importantes para a sustentabilidade de um negócio e para a satisfação dos stakeholders, exceto clientes externos.

VOC (*Voice of Customer*) – idêntica à VOB, mas desta vez aplicada exclusivamente aos clientes externo. Esta informação da origem, quando aplicável, aos limites de especificação.

WIP (*Work in Progress*) – Trabalho que esta a ser realizado num sistema produtivo, mas que ainda não se encontra finalizado.

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo dá-nos uma breve descrição desta Dissertação de Mestrado: é descrita a empresa onde o projeto *Lean Six Sigma* vai ser implementado, são também apresentadas as motivações que nos levaram a escolher este tema, os objetivos pretendidos, a metodologia utilizada e, por fim, é descrita a estrutura desta Dissertação.

1.1 Contextualização

Nos tempos que correm, todo o produto ou serviço que chega ao mercado, tem de ser o melhor possível e oferecer valor ao cliente devido à competitividade, que com o passar do tempo tem sido cada vez maior. As mudanças foram surgindo no mundo empresarial, em parte devido às novas tecnologias, tendo sido a inovação um dos principais fatores, para o aumento da competitividade. Consequentemente, com estas grandes alterações no mercado, houve um aumento da pressão nas empresas, que hoje, têm de estar sempre um passo à frente da concorrência, para que consigam vingar no mercado onde se encontram. Hoje em dia, a melhoria visa a redução de custos, garantir bons níveis de serviço, e garantir tempo de entrega adequado.

Para que uma empresa se mantenha no mercado, as expectativas do cliente têm de ser garantidas, através da entrega do produto esperado, no tempo certo, no local certo, na quantidade certa, porque sem clientes, não há negócio que perdure. É por isso essencial, reduzir ao máximo os desperdícios existentes.

O *Lean Six Sigma*, visa melhorar os processos já existentes, de modo a encontrar soluções para possíveis problemas que incluem desperdícios e variabilidade em processos. A parte *Lean*, mais intuitiva, elimina ou reduz desperdícios, e o *Six Sigma*, através de métodos estatísticos, avalia a eficácia do projeto. Mas, embora este conceito seja benéfico para as empresas, sente-se ainda alguma adversidade em relação à implementação desta metodologia, por ela implicar uma mudança no local de trabalho. Torna-se por isso, um grande desafio para as empresas, principalmente por requerer transformações no sistema técnico e de gestão. É por isso, importante informar os *stakeholders*, das oportunidades e riscos que um projeto deste tipo pode criar.

Surgiu assim, o interesse da implementação desta metodologia no Laboratório Elétrico e de Radiofrequência, do ISQ. Esta metodologia já foi anteriormente aplicada neste laboratório, pelo Eng. Marco Ferra, num outro equipamento mais complexo designado por ultrassons. O facto desta metodologia já ter sido implementada, é um ponto positivo para esta Dissertação de Mestrado, porque desta forma, os técnicos do laboratório, já puderam sentir os benefícios da implementação desta metodologia.

1.2 O Instituto de Soldadura e Qualidade

O Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), foi fundado em 1965, exercendo as suas funções há mais de 50 anos. Este instituto, é uma entidade privada e independente, sem fins lucrativos, que presta serviços como inspeções, calibrações, formações, ensaios e consultoria técnica. O ISQ tem como objetivo, ajudar o seu cliente na melhoria do seu desempenho e na redução do risco das suas atividades, de forma a aumentar a disponibilidade dos seus instrumentos de produção.

O Instituto tem crescido ao longo destes anos e atualmente está presente em mais de 16 países, apostando na inovação e na formação contínua dos seus colaboradores, estando a maior parte assinalados na Figura 1.



Figura 1 – Locais onde o ISQ está presente (ISQ, 2015)

Laboratórios da Metrologia

O Laboratório de Metrologia (Labmetro), efetua calibrações, nos domínios da saúde, acústica e vibração, dimensional, elétrico e radiofrequência, gás e caudal, massa, volume e força, ótica e topografia, pressão, temperatura e humidade, centros de inspeção e concessionários automóvel. Neste projeto LSS, vamos trabalhar com o laboratório elétrico e de radiofrequência. Estas calibrações consistem na verificação do desempenho atual dos equipamentos, comparado com os padrões do laboratório, que por sua vez têm um maior desempenho e são fiéis ao sistema internacional de unidades (SI). Estes laboratórios são acreditados pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC) de acordo com a norma ISO/IEC 17025:2005. Por vezes, as calibrações, não ocorrem no laboratório, mas sim, nas instalações do cliente, evitando paragens de longas durações, indesejadas pelo cliente, defraudando as suas expectativas. No Figura A.1 podemos encontrar a estrutura do Labmetro.

Norma ISO/IEC 17025:2005

A norma 17025 define os requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração, sendo-lhe atribuído o estatuto de Norma Nacional. Ela contém todos os requisitos da norma ISO 9001, relevantes para serviços de ensaio e calibração. Quando esta norma é utilizada, a aceitação de resultados entre países que utilizem a mesma norma, é obrigatória, bem como a existência de cooperação entre laboratórios, trocando informações e experiência. Ela é uma das várias normas produzidas pela ISO, *International Organisation for Standardization*, uma organização internacional independente, que reúne especialistas de todo o mundo, com o âmbito de criar padrões internacionais, que facilitam o funcionamento de serviços e produtos, fornecendo especificações adequadas à situação, que garantem qualidade, segurança e eficácia.

1.3 Breve descrição do problema

Neste subcapítulo fazemos uma breve descrição do problema, que vai definir e justificar o objetivo desta Dissertação de Mestrado. No Laboratório Elétrico e de Radiofrequência, são efetuados todos os tipos de calibrações relacionadas com eletricidade, desde equipamentos mais simples, como é o caso de multímetro, até ao complexo gerador de modulação em amplitude. Nessas calibrações, o mais pequeno erro pode gerar um grande prejuízo, tanto para o laboratório, como para o cliente. Este laboratório, tem como um dos principais clientes, a empresa BOSCH, conhecida mundialmente, pela sua qualidade, que no caso de existirem erros pode ficar comprometida. É, portanto, imperativo garantir os níveis de exigência dos seus clientes, como é o caso da BOSCH, que deposita a confiança neste laboratório.

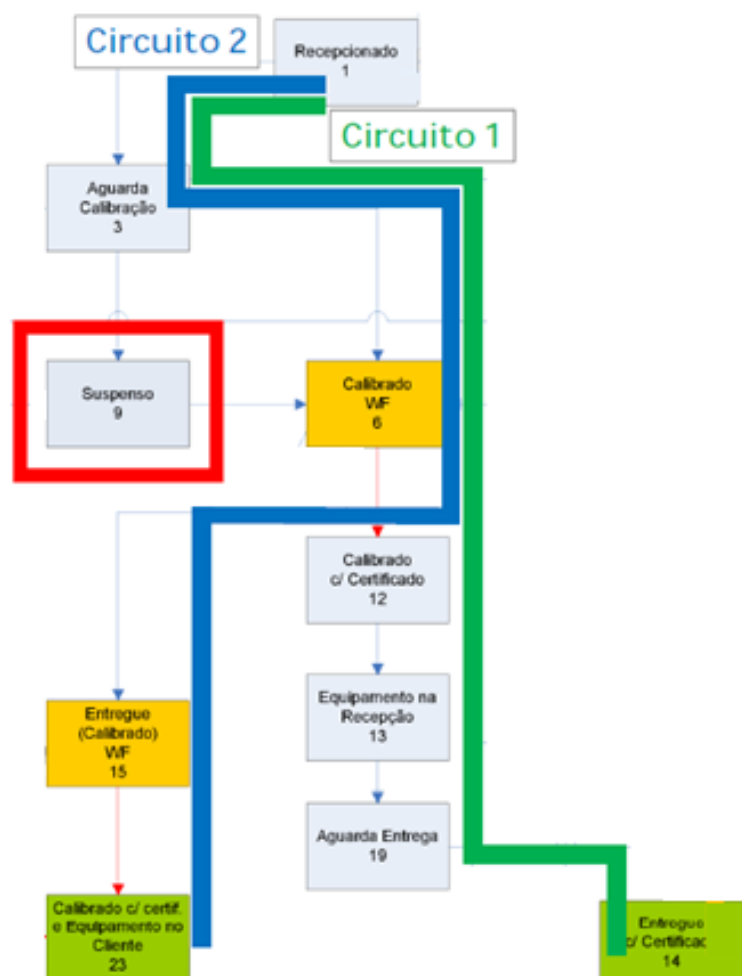


Figura 2 – Diagrama de Estados e Circuitos 1 e 2 (Ferra, 2017)

No projeto LSS, implementado pelo Eng.º Marco Ferra, foi representado o sistema interno do laboratório, ver Figura A.2 que se encontra na página 77. Nesta Dissertação são destacados os circuitos 1 e 2, que passam por etapas, estando elas numeradas.

Na Figura 2, podemos ver os principais circuitos que são vamos estudar, dois quais:

- Circuito 1 – este circuito é desejável, nele o instrumento do cliente sai do laboratório calibrado, com certificado, passando pelas etapas 1, 3, 6, 12, 13, 19 e 14;
- Circuito 2 – este circuito é indesejável, onde instrumento sai do laboratório calibrado, mas ainda sem certificado, passando pelas etapas 1, 3, 6, 15, 23.

Este projeto LSS é focado nos equipamentos calibrados dentro do laboratório, excluindo trabalhos exteriores, com o objetivo de aumentar a eficiência da sua calibração. Dentro do laboratório podem surgir os seguintes problemas:

- i. Faltar informação sobre um equipamento, da parte do cliente, o que faz com que o equipamento fique 'suspenso', até que o cliente envie toda a documentação necessária;
- ii. Quando o equipamento tem uma anomalia e passa para 'suspenso', enquanto são aguardadas novas indicações da parte do cliente;
- iii. No laboratório existem equipamentos, designados por padrões, que são utilizados para calibrar diferentes equipamentos, que são movimentados entre postos de trabalho e não permanecem sempre no mesmo lugar, dificultando o processo de procurar se um certo padrão ou acessório está disponível, o que consome tempo útil.
- iv. Por vezes, equipamentos ficam mais tempo no estado 'aguarda calibração' do que é suposto, porque os padrões utilizados para a sua calibração, estão a ser utilizados em trabalhos no exterior.

Estes pontos mencionados, são exemplos de possíveis estrangulamentos no processo de calibração, que diminuem o número médio de calibrações diárias.

1.4 Motivações e Objetivos

A motivação que nos leva a elaborar este tema de Dissertação na empresa ISQ, foi a oportunidade, de ligar os conhecimentos provenientes da minha Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, com o Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Conseguindo, desta maneira, tirar o máximo partido da parte de eletrónica e de gestão, mutuamente, bem como adquirir novos conhecimentos, relacionados com a metodologia LSS. Da parte do ISQ, a razão de nos ter sido sugerido o tema da aplicação da metodologia Lean Six Sigma, foi por esta já ter sido implementada, no Laboratório Elétrico e de Radiofrequência. Houve, portanto, um primeiro contato com esta metodologia, onde tiveram a oportunidade de sentir os benefícios que esta metodologia pode trazer. A aplicação da metodologia já implementada pelo Eng. Marco Ferra, aumentou do lucro do laboratório através da redução de utilização de recursos e de tempo de calibração. Deste modo, quando foi proposta um novo projeto Lean Six Sigma, este foi aceite sem qualquer tipo de oposição.

As motivações mencionadas estão diretamente relacionadas com os objetivos desta Dissertação. A metodologia *Lean Six Sigma* (DMAIC), é a que mais se adequa a resolver problemas sistemáticos, é o caso dos problemas mencionados no subcapítulo 1.3, que reduzem a eficiência da calibração. No decorrer do projeto LSS podem ser observados outros eventos. O objetivo desta dissertação, é observar um processo sistemático, identificar possíveis estrangulamentos existentes no processo e através de melhorias, atenuar ou eliminar esses estrangulamentos identificados. Com este projeto *Lean Six Sigma*, queremos aumentar a satisfação do cliente, através da diminuição do tempo de espera, bem como aumentar o lucro do laboratório, porque através da eliminação do tempo gasto nos estrangulamentos encontrados, conseguimos ganhar tempo para efetuar mais calibrações diariamente. Este projeto LSS irá incidir nos equipamentos que representam o maior volume de calibrações, para que a recolha de dados seja mais eficiente. O tempo objetivo deste projeto LSS é de 6 meses, tempo usual para projetos *Lean Six Sigma*.

1.5 Metodologia

A metodologia utilizada nesta Dissertação segue as várias etapas da Figura 3.

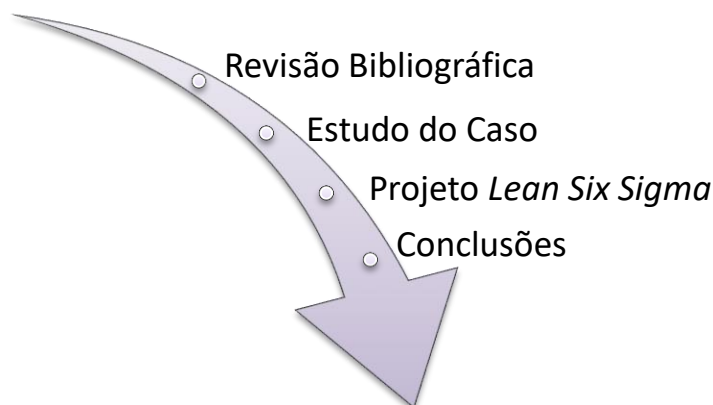


Figura 3 – Etapas da metodologia desta Dissertação

Durante a elaboração desta dissertação, para um melhor entender do sistema, fizemos a observação dos vários processos existentes. Foi também efetuada uma recolha de informação:

- Visual, ferramenta de Gestão Visual, que segundo, Tjell e Bosch-Sijtsema (2015), é uma ferramenta que funciona através da visualização, permitindo um melhor entendimento da contribuição dos vários intervenientes no local de trabalho. Ela possibilita uma boa perceção dos valores da empresa, bem como das necessidades dos clientes.

- Oral, através da interação com os vários intervenientes no processo
- Escrita, dos dados disponíveis e não disponíveis em bases de dados

Houve ainda a necessidade de criar informação adicional, com base na observação diária dos processos estudados para melhoria.

Recorreu-se ainda a um conjunto de ferramentas *Lean Six Sigma*, descritas anteriormente na revisão bibliográfica, que permitem analisar e tratar a informação recolhida, de modo a criar propostas de soluções. Por fim, as conclusões, onde temos os resultados obtidos, após a implementação do projeto *Lean Six Sigma*, e qual o seu impacto no processo melhorado.

1.6 Estrutura

A presente Dissertação de Mestrado encontra-se estruturada em 4 capítulos:

- Primeiro capítulo, temos a introdução, onde é feita uma breve introdução ao tema desta Dissertação, através da contextualização do problema em questão. Também é efetuada uma descrição da empresa onde este projeto *Lean Six Sigma* tem como base de estudo, bem como uma breve descrição das metodologias que irão ser aplicadas, dos objetivos pretendidos e das motivações que levaram este projeto avante.
- Segundo capítulo, temos o estado da arte, é neste capítulo que são expostos os principais conhecimentos adquiridos sobre as metodologias *Lean* e *Six Sigma* ao longo dos anos, que levaram à descoberta que estas duas metodologias juntas, criavam uma sinergia. O estado da arte, irá ser usado como base de auxílio para a implementação do projeto *Lean Six Sigma* que temos em mãos. Aqui, são apresentadas as duas metodologias que irão ser estudadas, *Lean* e *Six Sigma*, e as suas respetivas ferramentas.
- Terceiro capítulo, é descrito o Projeto *Lean Six Sigma* (DMAIC) no Laboratório Elétrico e de Radiofrequência do ISQ. Onde são descritas as várias fases do projeto detalhadamente e apresentados todos os passos efetuados dentro de cada fase. A fase *Measure* e *Analyse*, são as fases com mais peso nos projetos, onde são medidos todos os KPI's relevantes para o caso em estudo. Neste capítulo temos ainda as conclusões que apresentam os principais ganhos que este projeto trouxe para o Laboratório Elétrico e de Radiofrequência.
- Quarto capítulo, são apresentadas as conclusões desta Dissertação, após a implementação da metodologia *Lean Six Sigma* no Laboratório Elétrico e de Radiofrequência. Neste capítulo temos uma visão abrangente da Dissertação desde o início do trabalho, até fim, onde podemos ver claramente os benefícios que o projeto *Lean Six Sigma* trouxe para o Laboratório.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo, são apresentadas as metodologias *Lean* e *Six Sigma*, e as ferramentas utilizadas por ambas. São também apresentados casos reais, onde a metodologia *Lean Six Sigma*, já foi implementada com sucesso.

2.1 *Lean*

2.1.1 Introdução

Num contexto histórico, o conceito *Lean*, teve origem na empresa Toyota, na final da Segunda Guerra Mundial, na altura designada por *Toyota Production System* (TPS) (Monden, 2012). Este conceito tinha a intenção de manter um fluxo contínuo num dado sistema de produção, utilizando uma estratégia Pull, nesta estratégia só é produzido aquilo que o cliente encomenda. Esta estratégia contrastava com a produção praticada na altura, onde se produzia em massa, estratégia *Push*, que tira partido do conceito economias de escala, que tem em conta um determinado número de defeitos, para uma grande quantidade de produtos produzidos. Esta metodologia tem como objetivo a perfeição, reduzir o número de artigos defeituosos e os custos associados (Castro, 2016; Womack e Jones, 2003).

Esta metodologia, tem vindo a ser melhorada ao longo destes anos, tendo começado com o *Lean Production*, mais focada na produção e mais tarde levando ao aparecimento do *Lean Thinking* (Pensamento *Lean*). O *Lean Thinking*, é pensar nos desperdícios e na boa gestão dos recursos que temos, de forma a criar algo com valor, evitando usar recursos com atividades que não trazem qualquer tipo de valor para o sistema. Estes desperdícios podem identificados por observação, se forem fáceis de identificar, ou através da análise de dados. Exemplos de desperdícios correntes (Pinto, 2016):

- **Excessos na produção**, um dos desperdícios mais comuns, que deve ter em consideração a qualidade de produção, a qualidade do produto, o lead time, o cumprimento de prazos, e o preço;
- **Tempos de espera**, provocados por avarias de máquinas, falta de informação, pessoas, etc.;
- **Transportes**, devem ser aplicadas taxas ao cliente, quando o transporte é desnecessário;
- **Movimentos**, em excesso devido à má disposição dos equipamentos utilizados;
- **Processos em excesso**, e não valorizados pelo cliente são considerados desperdícios.
- **Inventário**, todos os produtos em excesso são considerados desperdício. Ter inventário significa ter dinheiro parado, que só gera custos;
- **Defeitos**, todos os desperdícios podem originar defeitos, é importante aprofundar até descobrir de onde vem o defeito.

No caso de uma atividade de valor acrescentado, para ser tratada como tal, tem de se verificar em três critérios: o cliente tem de estar disposto a pagar por ela, deve ser associado a uma transformação física do produto e a atividade deve ser bem-feita à primeira, de modo a não causar retrabalho.

O *Lean Thinking* rege-se pelos princípios seguintes (Pinto, 2016):

- **Identificar os Stakeholders** – é importante conhecer quais são as partes interessadas e afetadas.
- **Definir o valor** – é importante conhecer o valor que cada *stakeholder* pretende receber.
- **Promover o fluxo** – fluxo é uma das palavras chaves do Lean, porque se não houver fluxo na cadeia de valor, não conseguimos atingir os objetivos pretendidos, e mais tarde ou mais cedo a cadeia acaba por perecer.
- **Sistema Pull** – produzir apenas quando há um pedido do cliente.
- **Melhoria contínua (Kai-zen)** – este é um aspeto importante, porque o “perfeito”, não existe.
- **Inovação** – como sabemos o mercado está em constante alteração, e se não houver inovação, com a rápida evolução do mercado, alguns produtos/processos podem ficar obsoletos.

Ainda de acordo com Pinto (2016), juntamente com os princípios *Lean*, existem quatro pontos que ajudam na implementação do “*Lean Thinking*” no nosso quotidiano e empresa:

- **Uniformização**, todos fazem, o mesmo processo, da mesma forma através da criação de padrões;
- **Gestão Visual**, promove a visualização dos problemas em questão e envolve as pessoas em torno de um objetivo comum;
- **Resolução de problemas em equipa**, transformando problemas em oportunidades;
- **Desenvolvimento das pessoas**, para haver uma empresa *Lean*, os seus intervenientes têm de ter um pensamento *Lean*.

De acordo com Jackson (1996), o *Lean*, também tem também uma filosofia de gestão empresarial, o *Lean Management*, que tem como objetivo criar valor para a empresa através da redução de desperdício. Esta filosofia requer uma separação dos padrões existentes e implica uma mudança de mentalidade, na forma como se gerem as atividades de um negócio. Centrada na melhoria da produtividade, através da redução ou eliminação de custos e tempos, com vista a promover as atividades que realmente acrescentam valor para o cliente. Esta filosofia tem como ponto de partida, reconhecer que apenas uma pequena fração do tempo e esforço de uma organização é convertida em valor. Este sistema alinha o planeamento estratégico de longo prazo com uma melhoria diárias com especial foco no cliente. Ao ser implementada numa organização, apresenta-se como suporte a uma transformação da empresa ligando toda a empresa à gestão estratégica através de atividades que a tornam mais competitiva. Ambicionando o funcionamento de uma organização mais eficiente e o mais eficaz possível a menor custo e a desperdício zero.

Em seguida, são descritas algumas das ferramentas mais comuns do Lean e potencialmente utilizáveis neste trabalho.

2.1.2 Ferramentas *Lean*

2.1.2.1 5S

O 5S é uma ferramenta sistemática, criada pela indústria japonesa, para melhorar o local de trabalho, através da autodisciplina, e da criação de boas práticas, contribuindo para o aumento da segurança, e identificação de desperdícios e aumentar a qualidade, através da criação de um ambiente de melhoria contínua (Imai, 2012).

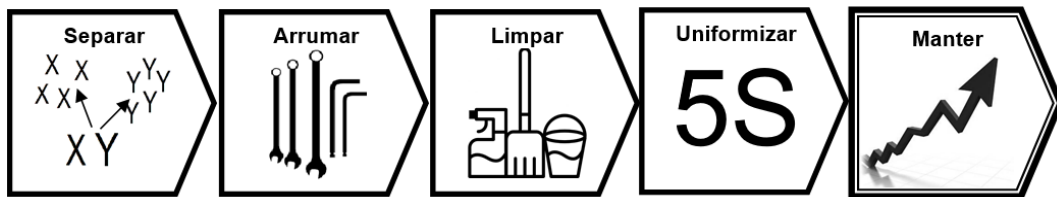


Figura 4 – Os cinco S's (adaptado de Imai, 2008)

São descritos os cinco termos em japonês, nos pontos seguintes. (Buesa, 2009; Waring e Bishop, 2010; Wong e Wong, 2013; Pinto, 2016):

- **Seiri** (Separar) – o objetivo deste S é, separar o estritamente necessário do que não é. Podemos separar da forma seguinte: o material que for usado a toda a hora, é colocado no local de atividade; o que for utilizado esporadicamente durante o dia, próximo do local de atividade; o que for utilizado algumas vezes durante a semana, colocar-se numa secção de armazenamento de materiais; e o que não for necessário, considerar desperdício.
- **Seiton** (Arrumar) – tem como conceito base, a organização. Os instrumentos necessários, já identificados na etapa anterior, são ordenados. Recorrendo a uma gestão mais visual, tornando a organização do material mais simples. Esta organização do material pode ser feita através de silhuetas ou etiquetas, ou ambos. O que irá facilitar o uso dos materiais e a posterior arrumação dos mesmos, após terem sido utilizados.
- **Seiso** (Limpar) – significa limpeza, e tem como objetivo, deixar o local de trabalho limpo.
- **Seiketsu** (Uniformizar) – esta etapa diz-nos que a melhoria contínua deve ser incentivada, numa questão de clareza, organização e limpeza. De modo a uniformizar todas as atividades essenciais, mantendo o asseio no local de trabalho. Para que tal aconteça, devemos criar um padrão, para que as etapas anteriores não tenham sido em vão.
- **Shitsuke** (Manter) – significa autodisciplina. Este processo só pode realmente acontecer, se houver empenho e compromisso da parte de todos os intervenientes. Se esta última etapa, realmente estiver operacional, significa que todas as etapas anteriores foram cumpridas.

Vijaymohan e Aravindha (2014), confirmam que, através da aplicação desta metodologia numa fábrica, que tinha como objetivo a redução de *lead-times*, conseguiu-se cativar a participação dos operadores, melhorar a arrumação, reduzir desperdícios e melhorar os padrões de segurança.

2.1.2.2 Diagrama de Causa-Efeito

O diagrama de causa-efeito, representado na Figura 5, foi criado nos anos quarenta por Kaoru Ishikawa, no Japão. A sua finalidade, é fornecer uma fácil visualização das causas, que estejam a produzir um determinado efeito indesejado. Este diagrama, também nos ajuda a organizar o raciocínio, e pode ser feito por um indivíduo, ou por um grupo de indivíduos (Kume, 1993).

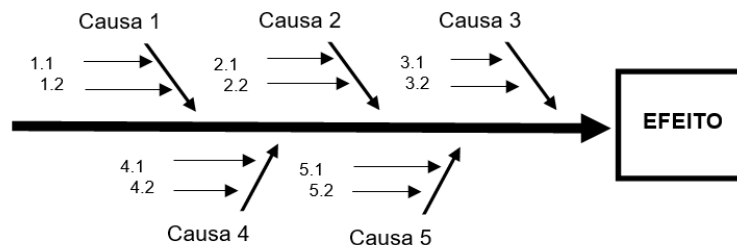


Figura 5 – Exemplo de um Diagrama Causa-Efeito (Pinto, 2016)

Em suma, o diagrama Causa-Efeito, ajuda-nos a pensar nas possíveis causas para um certo acontecimento recorrente.

Segundo Pinto (2016), ao construir-mos o diagrama, devemos ter em consideração seis tipos diferentes de causas: o **método**, utilizado para um certo processo, a **máquina**, se for o caso, pode existir uma má utilização ou até mesmo a falta de manutenção, a **medida**, possíveis decisões acerca do processo, o **meio ambiente**, poderá haver um ambiente que não seja propício à qualidade do processo ou serviço, a **mão-de-obra**, que por vezes pode não ser qualificada, o **material**, que pode ser de baixa qualidade, não garantindo um bom nível de serviço.

Depois do diagrama estar construído, junto de toda a equipa, é possível identificar as causas mais críticas, explorando-as, e assim criando possíveis soluções que possam surgir por *brainstorming*.

2.1.2.3 Poka-yoke

Este conceito foi introduzido em 1961 por Shigeo Shingo¹, quando trabalhava na *Toyota Motor Corporation*. Inicialmente, este método era designado por *baka-yoke*, o que significava “*fool-proofing*”, ou seja, “à prova de tolos”. Mas como era propício a afetar suscetibilidades, o nome foi alterado, significando agora “à prova de erros”, (Shingo, 1986).

Este processo é composto por vários mecanismos, que têm como objetivo, o menor erro possível, reduzindo a probabilidade da existência de desperdícios. Tem como base assegurar, antes da execução de um dos passos dum processo, se existem as condições apropriadas, para que a percentagem de erro seja a menor possível.

¹ (1909-1990) revolucionou as práticas existentes na produção, através de várias contribuições. Impulsionou o desenvolvimento do sistema Toyota em conjunto com Taiichi Ohno.

Estes mecanismos utilizados pelo *poka-yoke* podem ser elétricos, procedimentais, visuais, humanos, ou qualquer outra forma que impeça a má execução de uma parte de um processo. Como iremos perceber no primeiro caso prático que irá ser descrito no subcapítulo 2.3.3, página 21.

2.1.2.4 Value Stream Mapping

É um método qualitativo e quantitativo, elaborado em grupo, que nos ajuda a analisar o estado atual do fluxo de valor e a perceber a necessidade de criar um novo. O VSM descreve com detalhe todas as operações existentes, como o fluxo de informação e fluxo de produtos.

Rother e Shook (1999), consideram a VSM, uma metodologia de simbologia simples e de fácil percepção, é por estas razões, que este método, é um ótimo auxiliar na visualização de desperdícios. O objetivo da análise do fluxo atual de valor tem como objetivo alcançar um fluxo contínuo, que tenha em consideração as exigências do consumidor.

O esquema apresentado na Figura 6, representa o processo para a criação do VSM:

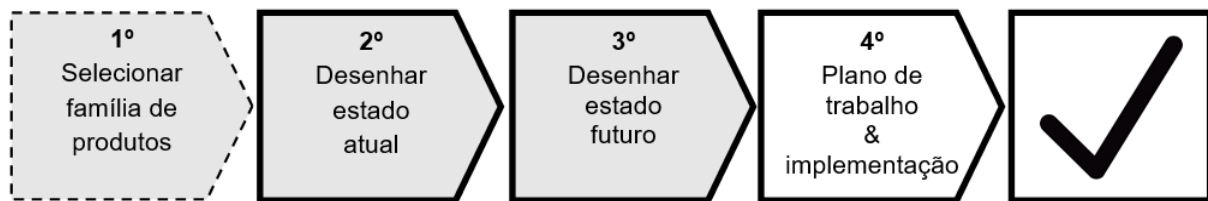


Figura 6 – Etapas do mapeamento do fluxo de valor (Imai, 2008)

Na 1ª etapa, selecionamos uma certa família de produtos, estas famílias são produtos que passam por processos iguais ou semelhantes, na 2ª etapa esboça-se o estado atual do fluxo de valor. Na 3ª, é esboçado, o VSM do estado futuro. Por fim, na 4ª etapa, é elaborado um plano de implementação e implementado. Posteriormente à implementação, é efetuado um novo estado de fluxo, que sofrerá o mesmo processo que o antigo estado, de modo a promover a melhoria contínua no fluxo de valor (Rother & Shook, 1999).

2.1.2.5 Cinco Porquês (5W)

Esta ferramenta, é um método sistemático. Na prática, é bastante simples, onde temos de perguntar entre três a cinco vezes, o porquê de um certo acontecimento ter ocorrido, até que seja encontrada a causa-raiz do problema. Como não são necessários muitos recursos, nem de nenhuma análise estatística, podemos dizer que este é um método que não traz muitos custos associados (Sondalini, 2011).

Para uma melhor percepção, de como este método funciona, iremos apresentar um exemplo da aplicação 5W, usando um caso habitual, uma empresa que não foi capaz de entregar o seu produto a atempadamente ao cliente (LEA):

- Porquê? Porque o equipamento falhou
- Porquê? Porque a placa dos circuitos queimou
- Porquê? Porque houve um sobreaquecimento
- Porquê? Porque o filtro não foi mudado
- Porquê? Porque não foi efetuada manutenção preventiva ao filtro da máquina (sendo esta a causa-raiz)

2.2 *Six Sigma*

2.2.1 Introdução

O conceito Six Sigma surgiu no departamento de qualidade da Motorola, a partir da aplicação de conceitos de William Deming², sobre a variação de processos, de forma a reduzir variações indesejadas. No caso da Motorola a meta foi de 6σ , ou seja, a variação das características de resposta foi analisada de seis desvios padrões em torno do valor esperado. Em que o objetivo final era aumentar o desempenho da Motorola 1800 vezes em cinco anos, após ter sido admitido internamente que a qualidade era má.

Esta metodologia tornou-se indispensável para empresas que querem atingir a qualidade no século XXI. A sua implementação tem resultados notáveis no lucro das empresas, tendo levado várias empresas a alcançar objetivos nunca antes atingidos. Esta é uma metodologia acessível e essencial, para atingir a maximização do sucesso de qualquer empresa, sendo ele orientado consoante os requisitos do cliente.

Esta metodologia tem como objetivo, melhorar os processos repetitivos, mas porquê só em processos repetitivos. Sabemos, que só é possível haver melhoria contínua, em processos que estejam de certa forma, estandardizados, para conseguirmos medir e avaliar a situação atual de um processo ou serviço.

² Deming foi um estatístico, nascido em 1900, que possuía grandes conhecimentos na gestão de qualidade, e contribuiu para uma produção de produtos inovadores e de alta qualidade, no Japão, sendo ele o estrangeiro que gerou o maior impacto na indústria e economia japonesa do século vinte.

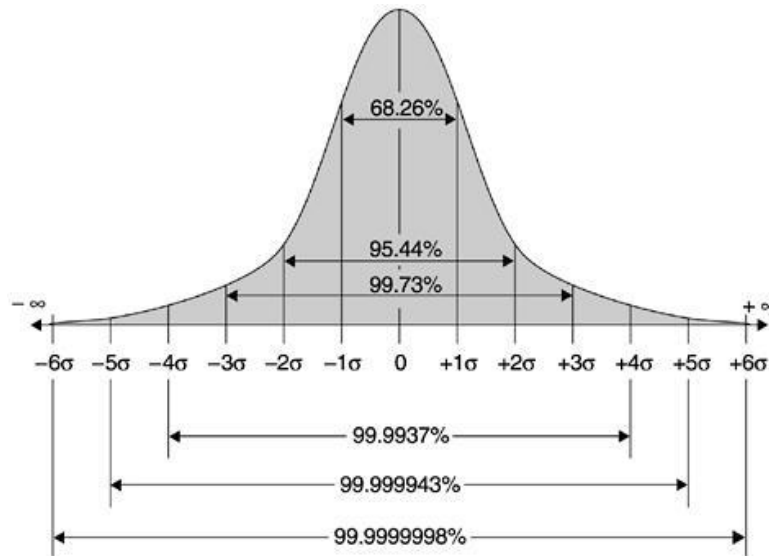


Figura 7 – Distribuição normal e os níveis sigma (Pinto, 2016)

A *Six Sigma* é quantitativa, que tem como objetivo aumentar a lucratividade das empresas e criar a oportunidade de aumentar a satisfação dos clientes. Para medir o resultado, é utilizada uma escala para medir o nível de qualidade associado a um certo processo, transformando-o em dados úteis, defeitos por milhão. É então definido um objetivo com a intenção de atingir o nível de qualidade de 99,99966%, que representa e um número de defeitos muito próximo de 0 (3,4 defeitos por milhão de oportunidades) (Kwak e Anbari, 2004). Na Figura 8, podemos ver, sabendo que DPMO (Defeitos por milhão de oportunidades) é uma métrica da qualidade associada ao nível sigma, e representa o número de defeitos por cada um milhão de oportunidades, o sigma apresentado tem um ajuste de 1,5 sigma, definido pela MOTOROLA.

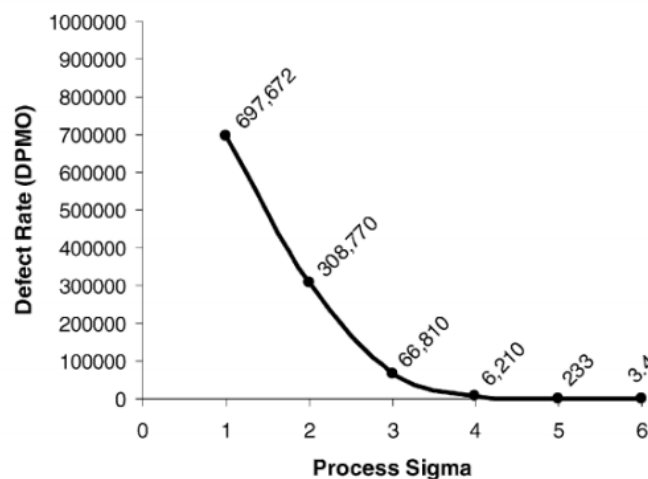


Figura 8 – Escala Sigma (Linderman, 2003)

No meio empresarial, há uma questão que se deve ter em consideração, o cliente final não sente médias, sente variações. Para que essas variações sejam reduzidas, segue-se uma abordagem sistemática de definição, medição, análise, melhoria e controlo do processo (DMAIC).

2.2.2 Ferramentas e Metodologias

2.2.2.1 DMAIC

Segundo o Guia Seis Sigma (2001-2004), a metodologia DMAIC, é essencialmente utilizada em processos, produtos ou serviços que já existem, tendo como objetivo principal, a sua melhoria. Os projetos que consistem nesta metodologia, visam ajudar a eficácia de processos, sem que haja grandes alterações na organização quando existem produtos com mais de três ou quatro sigma.

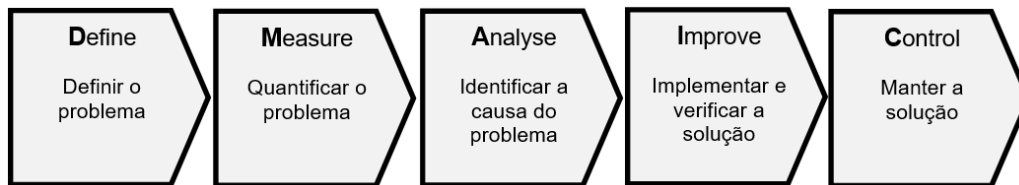


Figura 9 – Fases da DMAIC (Rotondaro, 2002)

2.2.2.1.1 *Define*

Nesta fase, é importante definir quais os processos cuja melhoria faria com que se obtivessem mais ganhos, que carecem de uma melhoria. Todos os projetos seis sigma, devem ter um *champion*, que além de ser um dos principais interessando no sucesso do projeto LSS, é a pessoa que não necessita de ir mais acima na organização para ultrapassar obstáculos, sendo ele o líder estratégico dos projetos *Six Sigma*. O *champion* tem o dever de arrancar com o projeto e de informar todos os membros da equipa os objetivos pretendidos, da duração do projeto e da qualidade exigida deste projeto. Esta fase tem como objetivos a seleção de uma equipa para o projeto LSS e identificar as expectativas dos intervenientes.

Ferramentas utilizadas:

- **Project Charter** – é um documento que contém todas as informações relevantes acerca do projeto LSS, estabelecido entre o *champion* e a equipa. Neste documento são definidos os objetivos do projeto, a equipa, os benefícios esperados, o calendário, os riscos, um custo estimado do projeto, os recursos necessários, entre outros.
- **SIPOC** – definido no subcapítulo 2.2.2.2.

2.2.2.1.2 *Measure*

Esta fase tem como objetivo, estabelecer a *baseline*, ou seja, a capacidade atual do processo. Esta fase, segundo ISO13053 (2011), pode seguir os passos seguintes:

- 1 – Selecionar uma ou mais variáveis críticas para melhorar;
- 2 – Definir as amostras a serem coletadas;
- 3 – Desenvolver um plano de recolha as amostras;

4 – Validar as amostras recolhidas através das Cartas de Controlo;

5 – Medir a *performance* do processo através do DPMO.

Ferramentas utilizadas:

- **Brainstorming** – técnica utilizada para resolver problemas em grupo, através da criação de um grande número de ideias num curto espaço de tempo. Brainstorming é uma maneira disciplinada, mas relaxada que estimula um grupo de indivíduos a procurar novas ideias.
- **Carta de Controlo** – envolve o produto selecionado e a amostra recolhida ao longo do tempo. Através destes gráficos podemos encontrar algumas tendências, se o processo está sob controlo, se tem muita ou pouca variação e identificar possíveis *outliers*.
- **DPMO e Nível Sigma** – é calculado o nível sigma do processo em análise, para que se possa dimensionar a performance do processo. Este nível sigma é obtido através do DPMO.
- **Diagrama de Causa e Efeito** – mencionado no subcapítulo 2.1.2.2.

- **Diagramas Spaghetti** – são diagramas que representam os movimentos físicos. Conseguimos desta forma perceber se os percursos e as distâncias percorridas são demasiado longas, e propicias a uma análise para uma posterior redução ou eliminação desse movimento.

No final desta fase, o *Project Charter* é revisto, e alterado caso necessário.

2.2.2.1.3 Analyse

Nesta fase, os dados adquiridos na fase anterior, são analisados estatisticamente e tem como objetivos identificar desperdícios, selecionar e classificar as variáveis dos processos-chave, e estimar os pontos fracos do processo atual.

Através de métodos estatísticos as observações recolhidas durante a fase *Measure*, são analisadas. Esta análise é feita consoante o objetivo do projeto LSS. Nesta fase podemos utilizar métodos como os *Boxplots*, para descobirmos se existem *outliers* na nossa amostra, que sejam considerados de causa especial, e tenham uma grande influência nos valores estatísticos obtidos.

2.2.2.1.4 Improve

Esta etapa, através do teste piloto, irá apresentar estatisticamente qual o nível de sucesso do projeto LSS. Nesta fase é onde se passa do papel para a ação, onde se cria ideias e soluções inovadoras. O líder do projeto, tem como função, acelerar o processo, motivar todos os *Stakeholders*, e desafiar a equipa a chegar ao fim deste projeto de uma maneira positiva. Caso haja um abrandamento do processo, esse pode ser fatal para o projeto, não podemos de maneira alguma deixar que o projeto estagne a meio caminho.

Ferramentas utilizadas:

- *Brainstorming*;
- 5S;
- Teste Piloto – onde a solução selecionada é implementada, para uma posterior análise;
- Teste à normalidade – verifica se o comportamento das observações pode ser aproximado por uma distribuição normal. Este teste torna possível a detecção de anomalias. E caso a amostra não siga uma distribuição normal, pode ser pelas seguintes razões:
 - a amostra é instável devido à presença de causas especiais
 - a amostra segue uma outra distribuição, que não a gaussiana.
- DPMO e Nível Sigma, onde o nível sigma é calculado, quando os dados se ajustam a um distribuição de probabilidade gaussiana (normal). Control

Após uma implementação do LSS, é importante que haja uma melhoria contínua e o bom uso das soluções encontradas através do projeto implementado. Para que tal aconteça, é necessário o controle do mesmo.

A melhoria contínua é algo que tem de estar presente na consciência de todos os trabalhadores afetados pelo projeto, para este efeito é necessária uma monitorização constante do processo, e avaliar, de modo a encontrar possíveis pontos críticos e melhorá-los.

É também importante que existam padrões de procedimentos, de modo a gerar o menor número de defeitos possíveis.

2.2.2.2 SIPOC

Esta ferramenta do seis sigma, significa *supplier* (fornecedor), *inputs* (entradas), *process* (processo), *outputs* (saídas) e *customers* (clientes). Esta ferramenta, consiste na elaboração de um fluxograma, que tem como objetivo encontrar relações existentes no processo, desde o fornecedor até ao cliente. Em primeiro lugar, é atribuído um nome ao processo, em seguida é necessário criar fronteiras, dos possíveis caminhos que podem ser seguidos. Em segundo lugar as diferentes saídas deverão ser enumeradas e caracterizadas segundo a perspetiva do cliente. E em terceiro e último lugar, desenham-se as principais etapas do processo.

Este diagrama tem como objetivo uma visão macro do processo desde o fornecedor até ao cliente. Segundo Parkash e Kaushik (2011), o SIPOC cria uma imagem geral do plano do projeto, contribuindo qualitativamente para o desenvolvimento de planos estratégicos no desenvolvimento do projeto.

Na Tabela 1, podemos ver algumas perguntas indispensáveis durante a construção do fluxograma. A seta representada, indica a ordem que deve ser seguida para a construção do diagrama, construindo-se de trás para a frente.

Tabela 1 – Perguntas necessárias para completar o fluxograma SIPOC (Parkash e Kaushik, 2017)

Supplier <i>WHO?</i>	Inputs <i>WHAT?</i>	Processes <i>HOW?</i>	Outputs <i>WHAT?</i>	Customer <i>WHO?</i>
Quem são os fornecedores que melhor fornecem a entrada?	Que inputs são necessários?	Que processos são necessários para produzir os <i>outputs</i> e como são atualmente monitorizados?	Quais <i>outputs</i> (bens ou serviços) e com que recursos e benefícios devemos fornecer?	Quem são os nossos clientes e o que eles querem?



Parkash e Kaushik (2011), relatam que a construção deve começar pelo ‘*output*’ do produto ou serviço, construindo para trás, identificando os processos que produzem os *outputs*, os *inputs* desses processos, e os fornecedores desses *inputs* (internos ou externos). E por fim, identificar todos os clientes, i.e., todos os que recebem e usam os *outputs* do produto ou serviço.

2.3 *Lean Six Sigma*

2.3.1 Introdução

Esta metodologia surgiu através da junção das metodologias *Lean* e *Six Sigma*, após ter-se percebido que juntas criavam uma sinergia (Salah et al. 2010). Esta tem como objetivo a otimização do desempenho de qualquer tipo de empresa, através da redução de desperdícios e da variabilidade, criando processos standardizados, afinando a possibilidade de haver defeitos perto de 0 (Smith, 2003).

Segundo Antony (2010), as principais características desta metodologia são:

- Identificação de oportunidades;
- Criação e definição de projetos que estejam focalizados nos objetivos da empresa;
- Preocupação em relação às exigências e expectativas do cliente;
- Melhoria de processos e a promoção da melhoria continua;
- Aumento do lucro da empresa.

Esta metodologia é a junção da rapidez e eficácia, que gera a eficiência nos processos, serviços ou produtos, sendo ela uma ferramenta poderosa para o sucesso de qualquer tipo de negócio.

2.3.2 Fatores críticos para o sucesso

Por norma, a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*, é aplicado a um processo que não está a garantir a qualidade desejada. Um dos fatores críticos para o sucesso da implementação desta metodologia, é o envolvimento dos intervenientes, que por vezes criam uma barreira à mudança, sendo eles um dos fatores mais importantes para que projetos LSS tenham sucesso.

Mas, também existem fatores indispensáveis para o sucesso destes projetos, como:

- O envolvimento da gestão de topo;
- O entendimento da metodologia e ferramentas Seis Sigma e *Lean*;
- A revisão e seguimento do projeto;
- A extensão de uma boa infraestrutura organizacional;
- A possibilidade de mudança de pensamento.

Segundo Achanga et al. (2006), existem empresas que aplicavam o Lean Seis Sigma, mas nem sempre são beneficiadas pela adoção desta metodologia. Os autores argumentam que uma das maiores barreiras para aplicação do Lean Six Sigma é a ausência de informação relativamente a custos, resultados e benefícios da implementação da metodologia, que podem gerar o fracasso destes projetos.

Antony et al. (2002), identificou um conjunto de fatores críticos para o sucesso da implementação destes projetos. É acrescentado por Pepper et al. (2010) e Martin (2007), outros fatores. Na Tabela 2, são apresentados os principais fatores.

Tabela 2 – Fatores Críticos de Sucesso de acordo com diferentes autores.

Antony et al. (2002)	Pepper et al. (2010)	Martin (2007)
Compromisso e dedicação da liderança	Estratégico e focado no processo	Apoio da liderança
Sistema de premiação e reconhecimento	Relação entre a complexidade e sustentabilidade da abordagem	Seleção das pessoas certas
Cultura organizacional		Seleção dos projetos certos
Comunicação organizacional		Comunicação efetiva
Priorização, seleção, revisão e acompanhamento do programa	Relação entre as duas metodologias	Características efetivas e de mudanças
Programa de treino efetivo	Estruturado de acordo com o tipo de problema	
Partilha para melhores práticas de projetos		
Capacidade financeira da empresa		

2.3.3 Casos práticos

Neste subcapítulo, iremos mencionar alguns casos práticos, que têm como objetivo clarificar os benefícios provenientes da implementação da metodologia *Lean Six Sigma*.

1º Caso Prático – Landscape Structures

Bonnie Smith et al. (2003) relatou que a *Landscape Structures*, um fabricante industrial de estruturas de *playgrounds* para parques infantis, tem vindo a adotar técnicas *Lean*, e que, em um ano, obteve um aumento na produtividade em mais de 20% e conseguiram ver-se livres da sucata acumulada, devido a erros de 0.8%, que desceram para 0.2%.

Após um ano meio, apesar da empresa ter aplicado e seguido com o projeto LSS, foi sugerida a implementação da técnica *Lean*, *Poka-yoke*, num processo manual. Neste processo, haviam operadores que tinham mais conhecimentos que outros. Assim, foi criado um processo estandardizado elétrico. Verificou-se que os operários que concretizavam este processo, tinham diferentes ideias daquilo que era uma boa chama para soldar. Foi então resolvido o problema, após todos os operários passarem por um treino, criando assim um processo padrão. Com este projeto reduziu-se a variabilidade e os desperdícios causados por erros que aconteciam com frequência.

2º Caso Prático – ISQ

Este caso de estudo foi efetuado por Marco A. Ferra, antigo responsável do Laboratório Elétrico e de Radiofrequência, de Lisboa. Ferra M. (2017), aplicou a metodologia LSS (DMAIC), que teve como objetivo a redução de tempo dos instrumentos recebidos para calibração, em pelo menos 30%, num projeto de seis meses.

Na fase, Measure, foram definidos 4 circuitos, que os equipamentos podem percorrer. Mas, para este projeto foram identificados como relevantes, os circuitos 1 e 2, Figura 2. Na fase, Analyse, o processo foi mapeado, através do diagrama SIPOC. Foram identificadas as fases do processo, que a redução da sua duração traria um melhor desempenho. De modo a perceber a causa de alguns problemas frequentes, foi efetuado um Diagrama Causa-Efeito, em equipa, que estabeleceu a causa interrupções via telefone, e-mail, colegas, como a mais crítica. Foi então feita uma recolha de dados. E posteriormente esses dados foram divididos em: dúvida técnica; dúvida administrativa; dúvida local acessório. Através de métodos estatísticos, foi verificado que a “dúvida técnica” é a principal causa-raiz que bloqueava a possibilidade de atingir o objetivo diário de 14 calibrações. Tendo sido identificada a causa-raiz, e posta em prática a metodologia 5W’s. Onde foram estabelecidos dois problemas principais: procedimentos técnicos (PT) demasiado teóricos; formação eficaz (FE), não existentes.

Foram encontradas duas possíveis soluções:

- A. PT – seria criar *Standard Operation Procedure*, SOP, para os equipamentos mais difíceis;
- B. FE – criar novos planos de formação com base nos SOP’s.

A solução escolhida foi a criação de SOP e foi escolhido o equipamento designado por ultrassons, por ser equipamento mais crítico. Após o **teste-piloto**, foi observou-se uma redução no tempo de calibração em 3 dias. Como houve uma redução do tempo de 44%, pode-se dizer que o valor anual médio, pode ser agora faturado em metade do tempo.

2.4 Conclusões

Neste capítulo, foram apresentadas várias metodologias, ferramentas e caminhos que o *Lean Six Sigma* pode seguir, como é o caso do DMAIC e DFSS, para produtos/processos já existentes, e criação de novos produtos/processos, respetivamente.

Esta revisão bibliográfica, serve de apoio ao projeto LSS desta Dissertação de Mestrado, onde são definidas e caracterizadas as ferramentas utilizadas ao longo do projeto, e a metodologia utilizada, DMAIC, explicada passo a passo.

Ferramentas, metodologias e técnicas, mencionadas:

- 5S
- Diagrama de Causa-Efeito
- *Poka-Yoke*
- VSM
- *5 Porquês (5W)*
- DMAIC
- *Project Charter*
- *BrainStorming*
- Cartas de Controlo
- *Diagrama Spaghetti*
- DPMO
- Nível Sigma
- Teste à normalidade
- *Pilot Test*

Neste projeto LSS, são utilizadas todas as metodologias mencionadas, à exceção do *Poka-Yoke*, VSM e 5W. As metodologias utilizadas foram as que após a análise do processo, contribuíram para a resolução dos problemas incluindo estrangulamentos encontrados no processo, como os movimentos excessivos dos técnicos de laboratório,

Capítulo 3

Projeto LSS no ISQ

Este capítulo descreve a evolução da implementação da metodologia *Lean Six Sigma*, no ISQ de Lisboa, seguindo a metodologia DMAIC, por este ser um projeto focado na melhoria de processos já existentes.

3.1 Introdução

Neste capítulo passamos à fase de recolha e tratamento de dados e informações do processo e aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*, descritas no Capítulo 2. Para isso, foram recolhidas informações através das bases de dados fornecidas, onde foi possível perceber de uma maneira eficaz, qual o percurso a percorrer, para que este Projeto LSS tivesse o maior benefício possível, tanto para a empresa, como para a conclusão deste trabalho.

Pode-se perceber através das bases de dados, que chega ao laboratório uma grande variedade de equipamentos para calibrar. Na Tabela 3, são apresentados os equipamentos que mais chegaram desde 2014. Esta lista de equipamentos ajuda-nos a criar um objetivo mais definido, em relação ao processo que vamos melhorar, encontrando-se a lista completa em anexo, Tabela B.1 página 82.

Tabela 3– Lista de equipamentos calibrados de 2014 a 2017

Equipamentos calibrados	2016	2017
MULTÍMETRO	811	807
PINÇA MULTIMÉTRICA	387	362
CRONÓMETRO	274	341
TAQUÍMETRO	255	206
MEGAOHMÍMETRO	180	206
GERADOR DE SINAIS	182	181
ANALISADOR DE INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS	170	179
PINÇA AMPERIMÉTRICA	100	142
MEDIDOR DE TERRA	116	124
GERADOR DE FUNÇÕES	140	77
FREQUÊNCÍMETRO	117	90
SCOPEMETER	75	89
ANALISADOR DE AUDIO	94	45
MULTÍMETRO MULTICANAL	64	71
...

Através da análise efetuada, podemos ver que ao longo destes últimos quatro anos, chegaram ao laboratório 182 tipos equipamentos diferentes. Em que, apesar de muitos servirem para medir a(s) mesma(s) grandeza(s), o processo de calibração, é diferente. Temos dois exemplos distintos, apresentados na Tabela 3, no caso dos multímetros, encontramos: ‘multímetro’ e ‘multímetro multicanal’, numa primeira análise seria expectável agrupar estes dois equipamentos na mesma categoria, mas na verdade, não pôde ser feito, porque o método utilizado para calibrar estes dois equipamentos, é diferente. Em contraste, temos a ‘pinça multimétrica’ e a ‘pinça amperimétrica’, que como o processo de calibração e os equipamentos utilizados, são os mesmos, podemos agrupar.

Na mesma Tabela 3, podemos ver que existem sete equipamentos assinalados, estas são as calibrações, que este projeto LSS, tem como objetivo analisar e melhorar a sua eficiência e eficácia.

No laboratório existem diversos postos de trabalho, cuja função é calibrarem diferentes tipos de equipamentos. As escolhas destes equipamentos tiveram em consideração os pontos seguintes:

- Todos podem ser calibrados no posto 1, 2 e 3;
- A calibração dos 'cronómetros', pode ser realizada simultaneamente com as calibrações do posto 1 e 2;
- No caso dos 'megaohmímetros' e 'medidores de terra', estes podem ser calibrados no posto 1, 2 ou 3;
- As 'pinças amperimétricas', 'pinças multimétricas' e 'multímetros', partilham os mesmos equipamentos.
- Para os 'scopemeters' são utilizados os mesmos equipamentos e acessórios utilizados nas pinças e multímetros;
- Representam uma grande parte das calibrações feitas no laboratório.

De maneira a expor melhor esta relação entre os equipamentos, são apresentadas as tabelas seguintes:

Tabela 4 – Relação entre Multímetros, Pinças e Scopemeters

Equipamentos para calibrar / Equipamentos a calibrar		Padrões de Referência				Acessórios				
		FLUKE 5500A Calibrator	FLUKE 5520A Calibrator	FLUKE 5720A Calibrator	FLUKE 5500A Coil (50 turns)	2x Cabos Banana	Fusíveis	Resistência (50 ohms)	2x Cabo BNC	2x Adaptadores BNC/Banana
Multímetros	3 1/2 dígitos	•	•	•		•	•			
	4 1/2 a 5 1/2 dígitos		•	•		•	•			
	6 1/2 dígitos			•		2x	•			
Pinças	<550A	•			•	•				
	>550A	•	•		•	•				
	Scopemeters		•			•	•	•	•	•
		Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 1 e 2					

Tabela 5 – Relação entre Medidores de Terra e Mega ohmímetros

Equipamentos para calibrar / Equipamentos a calibrar		Padrões de Referência			Acessórios	
		Guidline 9347/ 100kΩ	Guidline 9344/ 1GΩ	IET HRRS- 10kV/ 1TΩ	Cabos do Cliente	2x Cabos Banana
Medidores de Terra		•				•
Megaohmímetros			•	•	•	

Como podemos ver na Tabela 4 e Tabela 5, existe uma relação entre os três equipamentos da Tabela 4 e entre os da Tabela 5, que utilizam os mesmo equipamentos e acessórios.

Na Tabela 4, existe a informação do local onde as calibrações de cada equipamento são realizadas.

Para uma melhor percepção do espaço, e da localização dos postos 1, 2 e 3, mencionados anteriormente, é apresentada a Figura 10, a planta e planta do laboratório, onde a localização dos postos, equipamentos e acessórios, estão identificados (está identificado, apenas, o material utilizado para a calibração dos equipamentos selecionados).

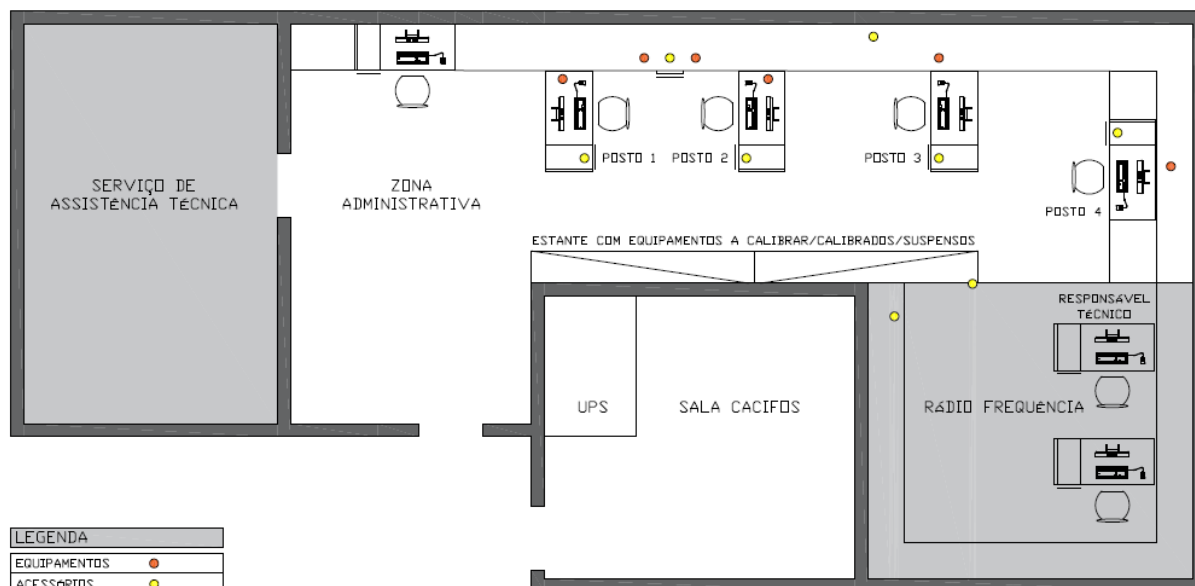


Figura 10 – Planta do Laboratório Elétrico e de Rádio Frequência

Atualmente, apenas as pinças, os multímetros e cronómetros, têm um lugar fixo de calibração, sendo efetuada nos postos 1, 2 e 3.

Após esta análise, com base numa análise ABC que teve como *baseline* a frequência de chegada dos equipamentos ao laboratório e o impacto no volume de negócios, agrupámos um conjunto de equipamentos. Os equipamentos escolhidos têm em comum alguns acessórios, necessários para a sua calibração. Foi ainda analisado e medido o verdadeiro impacto destes equipamentos no sistema, nos anos 2016 e 2017.

Tabela 6 – Volume de Negócio (VN) e Valor Bruto Anual dos equipamentos em análise

	2016	2017
Total do VN [%]	45,96%	48,10%
Valor Bruto Anual [€]	105 481,45 €	106 201,01 €

Na Tabela 6, podemos concluir que o volume de negócios representado pelos equipamentos em análise é bastante elevado, representando quase metade do número de calibrações efetuadas no Laboratório. Sendo, por isso, um bom grupo de equipamentos para a implementar a metodologia LSS, porque qualquer redução de desperdício ou variabilidade, pode provocar um aumento no número de calibrações diárias.

Após esta análise, definimos qual a família de equipamentos a ser afetada pelo LSS, iniciou-se assim a metodologia DMAIC.

3.2 DMAIC

Esta metodologia requer que os processos onde ela é aplicada, sejam repetitivos. Neste caso, a metodologia pode ser aplicada, porque tratam-se de processos repetitivos, sendo possível quantificá-los. Caso não fossem repetitivos, não era possível aplicar a metodologia.

3.2.1 *Define*

Nesta fase, é importante definir os vários pontos do projeto a implementar. Para garantir que o âmbito do projeto é o mais correto possível, é essencial recorrer ao preenchimento do *Project Charter*, mencionado anteriormente. Mas, embora seja expectável elaborar um *Project Charter* o mais específico e completo possível, dependendo do resultado das fases posteriores, poderá existir a necessidade de alterá-lo, em anexo, encontra-se o *Project Charter* final, Figura B.1.

No *Project Charter*, é definido:

- **O âmbito do projeto** – Desde o momento em que o técnico faz a primeira medição, até o momento em que o técnico faz a última medição.
- **O âmbito do projeto não é** – o tempo que esteja fora do âmbito da calibração, como o movimento do técnico às instalações dos clientes, atender o telefone, responder a emails, entre outros.
- **Importância do problema** – Tendo em conta a concorrência, que atualmente existe no mercado, é importante a redução dos tempos das calibrações, e deste modo aumentar o tempo livre tornando possível aumentar o número de calibrações diárias. Toda a eficiência que vir da parte técnica, traz valor para o cliente e para a empresa.
- **Clientes-Chave** – Todos os clientes que precisam de calibrar os equipamentos escolhidos, apresentados na Tabela 3, página 26.
- **Calendarização de cada fase:**
 - *Define*, de 10 de fevereiro a 24 de fevereiro, de 2018;
 - *Measure*, de 24 de fevereiro a 23 de março, de 2018;
 - *Analyse*, de 23 de março a 18 de maio, de 2018;
 - *Improve*, de 18 de maio a 15 de junho;
 - *Control*, de 15 de junho a 30 de junho.
- **Objetivo primário do Projeto** – Reduzir o tempo gasto no movimento do técnico, durante a calibração dos equipamentos, em 25% do tempo até 30 de junho de 2018.
- **Plano de Comunicação** – elaborada através de reuniões, das quais, todas as sextas das 9 horas às 10 horas, e uma reunião extra, caso necessário, às quartas-feiras das 9 horas às 10 horas.
- **Equipa do Projeto:**
 - Eng^o Marco Ferra, desempenhando o papel de *Champion*, contribuindo com cerca de 2 horas semanais para o projeto. Este papel foi atribuído ao Eng^o Marco, por este ser a engrenagem principal para arrancar com o projeto, tendo o dever de informar a restante equipa dos objetivos pretendidos e da duração do projeto.

- Sara Moreira, desempenhando o papel de Líder de Equipa, tendo como objetivo principal, levar este projeto até ao fim, contribuindo com cerca de 25 horas semanais para o projeto.
 - Engº Jorge Silva, desempenhando o papel de Dono do Projeto, contribuindo com cerca de 2 horas semanais para o projeto. Este papel foi-lhe atribuído, porque é o atual Responsável Técnico, sendo o responsável por qualquer alteração que seja necessária no laboratório.
 - Técnicos, desempenhado um papel importante no sistema, sendo eles quem realiza o processo que irá ser avaliado. Contribuindo com cerca de 5 horas semanais para o projeto.
- **Riscos do projeto:**
 - Indisponibilidade dos membros da equipa, para dedicarem 2 horas ao projeto, por semana, em horário de expediente, e conseqüente atraso no prazo planeado.
 - O objetivo demasiado otimista.

Após definir o âmbito do projeto, foi elaborado o diagrama SIPOC, que nos indica possíveis relações existentes no processo, desde o fornecedor até ao cliente. Sendo primeiro atribuído o nome do processo, 'Calibração dos equipamentos escolhidos', sabendo que os percursos que podem ser percorridos são os circuitos 1 e 2. O diagrama SIPOC é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Diagrama SIPOC, 'Calibração dos Equipamentos Escolhidos'

Diagrama SIPOC				
Fornecedores (Supplier)	Entradas (Inputs)	Processo (Process)	Saídas (Outputs)	Clientes (Customers)
Os equipamentos são fornecidos pelo coordenador de laboratório, que distribui os equipamentos para calibrar, nos diferentes postos de trabalho.	1. Especificações do equipamento entregue pelo <i>supplier</i> .	1. Processo inicial, em que é reunido os materiais necessários para a calibração a ser efetuada. [antes da calibração]	Equipamento calibrado com certificado e sem certificado.	O cliente é o responsável da parte da recepção da metrologia, que vai recolher os equipamentos já calibrados, para serem entregues ao cliente final.
	2. Equipamentos existentes em laboratório.	2. Processo de calibração		
	3. Procedimentos técnicos	3. Processo de recolha de materiais necessários para a calibração		
	4. Computadores e acessórios (fusíveis, cabos, etc.)			

Para completar esta visão macro, fornecida pelo diagrama SIPOC, o processo foi mapeado através do Diagrama do Ciclo das Atividades (DCA). Entidades do processo de calibração:

- Equipamentos do cliente (entidade temporária – entra e sai do sistema após passar pelo processo);
- Técnico (entidade permanente);
- Padrão (entidade permanente);
- Comboio logístico (entidade permanente).

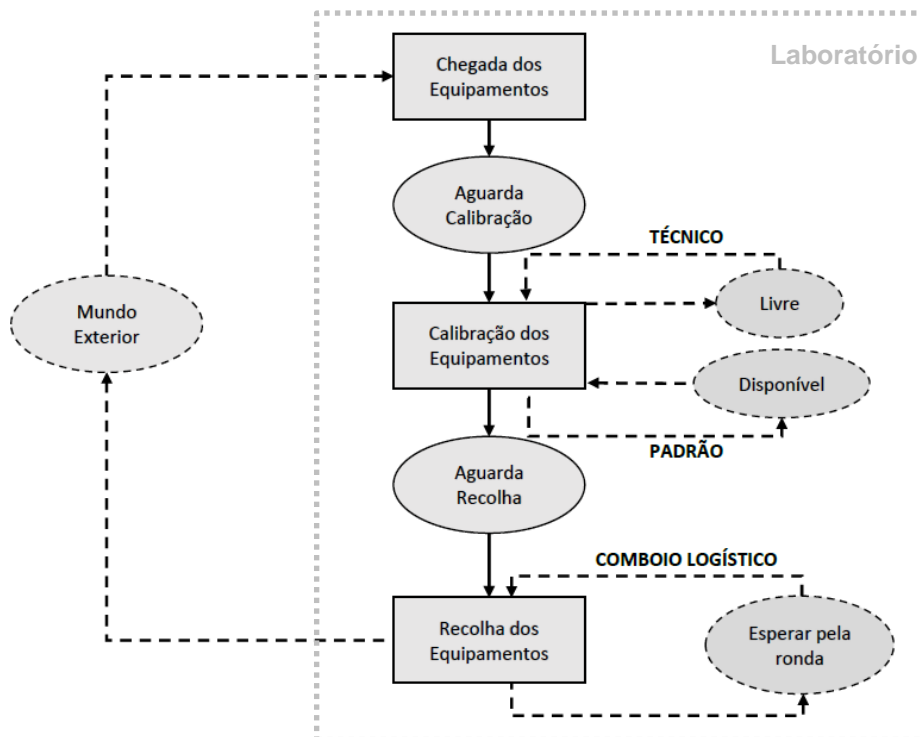


Figura 11 - DCA do processo de calibração

Na Figura 11 temos o DCA das entidades responsáveis pelo processo de calibração. Os retângulos representam as atividades, e as formas ovais representam filas de espera.

Inicialmente temos uma pseudo-atividade, a 'Chegada dos Equipamentos', pseudo porque uma atividade deve ter um início e um fim, mas neste caso, só temos apenas o evento da chegada do equipamento. Após a chegada do equipamento, o equipamento fica na fila de espera 'Aguarda Calibração', até haver pelo menos, um **técnico** 'livre' e um **padrão** 'disponível'. Quando essas condições forem garantidas, passa para atividade 'Calibração dos Equipamentos'. Quando o equipamento estiver calibrado, passa para a fila de espera 'Aguarda Recolha', em que para ocorrer a recolha do equipamento é preciso que o **comboio logístico** efetue a ronda, sendo que o comboio logístico faz apenas duas rondas por dia. Quando o equipamento for recolhido pelo comboio logístico, passa para o 'Mundo Exterior', considerando o mundo exterior, todos os lugares que não sejam o laboratório, sendo a receção do LabMetro considerada 'Mundo Exterior'.

3.2.2 *Measure*

Nesta fase, medimos as principais variáveis do processo de calibração. A partir de diferentes métodos:

- Gestão visual;
- Através do sistema interno dos laboratórios de metrologia, designado por LabMetro;
- Através de um ficheiro de apoio à equipa Lean com indicadores operacionais;
- Presencial;
- Comunicação e interação com os intervenientes do meio em estudo.

3.2.2.1 Recolha de dados através do sistema interno, LabMetro

Este sistema foi utilizado para recolher dados relevantes para o caso em estudo, em que alguns destes dados já foram apresentados na introdução deste capítulo, como é o caso da Tabela 6.

Neste sistema interno, podemos ter acesso a todos os equipamentos que entraram na Metrologia do ISQ, de Lisboa e do Porto. Sendo possível filtrar a informação para obtermos as respostas que queremos obter, como podemos ver na Figura 12.

Jser: smmoreira → Terminar Sessão

The screenshot shows a web application interface for searching services. On the left is a vertical navigation menu with items: Home, Empresa, Orçamentos, Serviços, Listar Serviços (highlighted), Mudar Estados, Mudar Estados(Pistola), Mudar Estado Recep. (Pistola), Documentos, Facturação, Estatísticas, Certificação, Marcações, and BO Admin. The main content area is titled 'Pesquisar Serviços' and includes a sub-header 'Por favor preencha um critério de pesquisa.' Below this are several search criteria: Empresa (text input), Estado (dropdown), Grandeza/Lab. (dropdown), Tipo Equipamento (text input), Marca (text input), Nº BRE (text input), Nº Ident. (text input), Local Equip. (dropdown), Id. Equipamento (BD) (text input), Modelo (text input), Ref. Calib. (text input), Nº Série (text input), and Calibração Externa (radio buttons for Sim and Não). A 'Pesquisar' button is located below the search criteria. At the bottom, there is a note: '* M.S. =Múltiplos serviços: significa que há outros serviços a serem efectuados sobre o mesmo equipamento. Dar prioridade ao serviço para otimizar os tempos.' and an 'Exportar p/Excel' button.

Figura 12 – Sistema interno (Fonte: Sistema interno do Labmetro)

Através deste sistema podemos obter informação, sobre qualquer equipamento que tenha entrado no sistema, desde o ano de 2004. Em relação aos filtros, os mais utilizados para recolha de informação, na secção “listar serviços”, foram:

- o nome da empresa do cliente,
- a grandeza/lab. que identifica qual é o laboratório que queremos, no nosso caso, é seleccionado o Laboratório Elétrico e de Radiofrequência;
- o tipo de equipamento que procuramos;
- a referência do equipamento, exemplo: CELE123/18;
- o local do equipamento, no nosso caso escolhemos ‘Lisboa’;
- o Boletim e Recepção de Equipamento, BRE, que indica o dia que o equipamento chegou à recepção;
- o estado do equipamento:
 - Aguarda Calibração, quando o equipamento entra no laboratório e aguarda que os técnicos ou padrões estejam livres;
 - Aguarda Entrega, quando o equipamento se encontra na recepção, e aguarda que o cliente venha levantar o seu equipamento;
 - Anulado, pode ocorrer por diversas situações, ou quando a referência do equipamento não é a mais adequada, quando o nome do cliente não está correto, ou quando existe uma referência em duplicado;
 - Avariado, quando o equipamento do cliente não funciona corretamente;

- Calibrado com Certificado e Equipamento no Cliente, quando o certificado já foi emitido e já se encontra no cliente;
- Calibrado, quando o equipamento já foi calibrado, mas ainda não tem certificado;
- Calibrado com Certificado, quando o equipamento já foi calibrado e o certificado já foi emitido;
- Entregue, quando o equipamento é entregue ao cliente, mas sem o certificado;
- Entregue com Certificado, quando o equipamento é entregue ao cliente, com certificado;
- Equipamento na Recepção, quando o equipamento já está calibrado e chega à recepção;
- Recepcionado, quando o entra no sistema, e ainda se encontra na recepção.
- Suspenso, exemplos: quando falta acessórios do equipamento, ou quando o orçamento ainda não foi aceite pelo cliente.

Nesta secção, “listar serviços”, conseguimos obter informação, como por exemplo, quando é que os equipamentos mudaram de estado, como mostra na Figura 13, este é um exemplo de um multímetro, que ficou 5 dias úteis no sistema sendo uma razão que nos leva a procurar diminuir o tempo destes equipamentos no sistema.

Estado	Dt.Estado
Recepcionado	13-04-2018 14:00:00
Aguarda Calibração	13-04-2018 14:34:00
Calibrado	18-04-2018 15:11:00
Calibrado c/ Certificado	19-04-2018 17:14:00
Equipamento na Recepção	20-04-2018 10:11:00
Aguarda Entrega	20-04-2018 10:11:00
Entregue c/ Certificado	20-04-2018 10:20:00

Figura 13 – Exemplo de um histórico de estados (Fonte: Sistema Interno do Labmetro)

A partir dos dados extraídos do sistema do LabMetro, chegamos aos valores apresentados na Tabela 8, que representa o número em média de calibrações efetuadas dos equipamentos escolhidos para melhoria, o número de calibrações por dia e o seu peso no negócio, que mais uma vez ilustra a importância dos multímetros no volume de negócio.

Tabela 8 – Média dos anos 2016 e 2017, número de calibrações anuais calibrações diárias e VN. (Fonte: Labmetro)

	Número de calibrações anuais		Calibrações por dia	Volume de Negócio
Multímetros	809	39,1%	3	18%
Pinças	516	24,9%	2	12%
Cronómetros	350	16,9%	1	8%
Scopemeters	82	4,0%	0,3	2%
Medidores de Terra	120	5,8%	0,5	3%
Megaohmímetro	193	9,3%	1	4%

3.2.2.2 Análise do desempenho histórico do laboratório

Para além do sistema informático mencionado anteriormente, a equipa Lean dispõe de indicadores adicionais que permitem uma análise mais visual e estatística relativamente ao comportamento do laboratório. Um outro apoio, muito relevante, para filtragem da base de dados, de modo a obter informação útil, foi através de um ficheiro excel, que serve de apoio à equipa Lean. Ligado á base de dados do sistema interno 'LabMetro'. Estes filtros são feitos através de tabelas *pivot*, do excel.

Através deste ficheiro é possível retirar a listagem de equipamentos que o laboratório calibrou, desde 2014, Tabela 3 na página 26. Também é possível ver sazonalidades, para cada equipamento ao longo do ano, mensalmente ou trimestralmente. Através destas informações, analisadas na próxima fase, *Analyse*, podemos concluir algumas tendências que ocorrem no sistema, ao longo do ano. Preferencialmente os gráficos apresentados na Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25 e a Figura 26, surgem nesta fase, mas para ser mais prático, aparecem apenas na fase *Analyse*, onde é feita a sua análise, presentes na página 39.

3.2.2.3 Recolha de dados presencialmente

Como o objetivo deste projeto LSS, é o estudo da calibração dos equipamentos escolhidos, foi necessário dedicar 3 semanas, para a recolha de dados. Esta recolha, tem como objetivo, caracterizar possíveis ocorrências, no decorrer da calibração, e calcular o tempo médio das calibrações. O modelo utilizado para a recolha destes dados, de maneira a trazer o máximo proveito do tempo disponível, é apresentado na Figura 14.

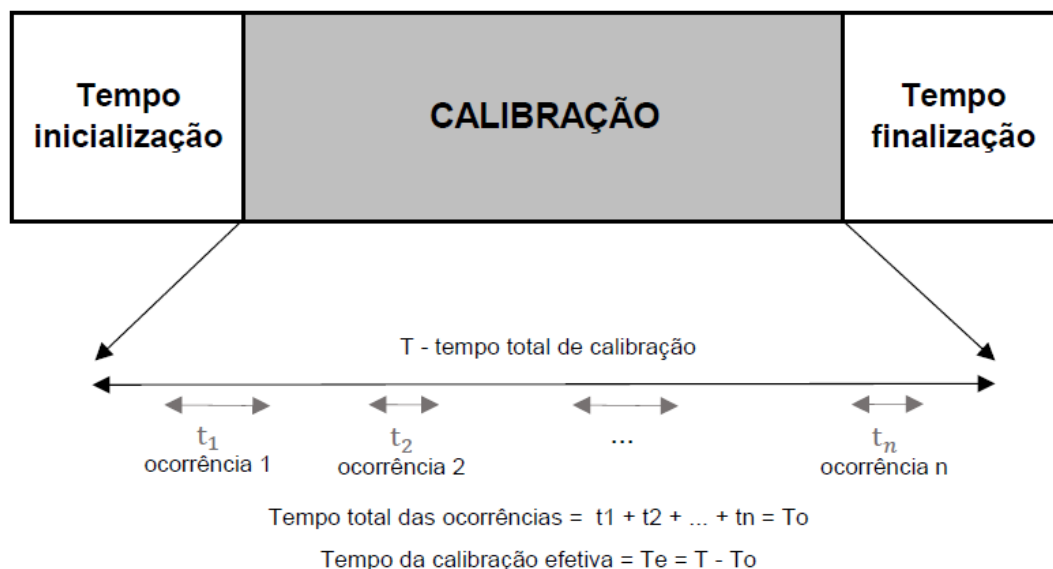


Figura 14 – Modelo para recolha dos tempos de calibração

Neste modelo, existem três fases para que o equipamento passe do estado 'Aguarda Calibração' para 'Calibrado'. Numa primeira fase, temos o 'tempo de inicialização', onde são reunidos todos os equipamentos e acessórios utilizados na calibração. Na segunda fase, temos a 'calibração', onde 'T' representa o tempo total de calibração e 'To', a soma dos tempos utilizados para ocorrências que podem acontecer durante a calibração, que param a calibração, por exemplo: a mudança de uma pilha ou fusível, dúvidas, erros na programação, entre outros. Por fim, temos o 'tempo de finalização', quando o equipamento acaba de ser calibrado e são necessários alguns procedimentos, por exemplo, retirar o fusível que foi substituído, imprimir etiqueta e emitir o certificado após a calibração.

Juntamente com estes tempos, os equipamentos foram sempre identificados por:

- Referência, de modo a ser possível identificar qual o equipamento analisado, e poder cruzar alguns dados com a base de dados;
- Posto, assim é possível identificar em que posto os multímetros foram calibrados;
- Caracterização, no caso dos multímetros, é possível caracterizá-los em quatro categorias: 3, 4, 5, ou 6 dígitos;
- Pontos, o número de pontos que foram medidos, variam de cliente para cliente, e de equipamento para equipamento. Para que se perceba melhor o que são os pontos, é apresentado na Figura 15, o exemplo de uma matriz, que dá origem ao certificado, onde os pontos são os valores que têm de ser inseridos na 'Leitura no Equipamento', apresentados no *display* do multímetro, havendo sempre uma incerteza associada, que deve ser o mais baixa possível. O valor ótimo, é aquele que se aproxima do valor padrão.

Tensão alternada													
Escala	Valor padrão	Leitura no equipamento	Erro	Tolerância	Incerteza	Erro + Inc. %Tolerância	Especificação do equipamento			Especificação de padrão			
							resol.	% Leitura	residual	escala	% Valor	residual	
* 600 mV	300 mV/45Hz		0,0 mV	-300,0 mV	± 0,300 mV	± 0,2 mV	%	0,1 mV	1	3 d	330	0,05	0,02 mV
* 6 V	5 V/500Hz		0,000 V	-5,000 V	± 0,003 V	± 0,003 V	%	0,001 V	1	3 d	33	0,04	6E-04 V
* 6 V	5 V/1kHz		0,000 V	-5,000 V	± 0,003 V	± 0,003 V	%	0,001 V	2	3 d		0,04	6E-04 V
* 60 V	50 V/45Hz		0,00 V	-50,00 V	± 0,03 V	± 0,04 V	%	0,01 V	1	3 d	330	0,05	0,007 V
* 60 V	50 V/1kHz		0,00 V	-50,00 V	± 0,03 V	± 0,04 V	%	0,01 V	2	3 d		0,05	0,007 V
* 600 V	100 V/1kHz		0,0 V	-100,0 V	± 0,3 V	± 0,10 V	%	0,1 V	2	3 d	330	0,05	0,007 V
* 600 V	300 V/45Hz		0,0 V	-300,0 V	± 0,3 V	± 0,20 V	%	0,1 V	1	3 d		0,05	0,007 V
* 600 V	600 V/1kHz		0,0 V	-600,0 V	± 0,3 V	± 0,20 V	%	0,1 V	2	3 d	1020	0,005	0,08 V
* 1000 V	1000 V/45Hz		0 V	-1000 V	± 3 V	± 1,00 V	%	1 V	1	3 d	1020	0,05	0,08 V

Figura 15 – Exemplo de uma matriz, onde os técnicos colocam os valores observados no equipamento

(Fonte: Base de dados do Laboratório)

Na figura 16 é apresentada informação sobre os tempos e características dos equipamentos observados em laboratório.

TEMPOS QUE NÃO SÃO CALIBRAÇÃO										TEMPO DA CALIBRAÇÃO EFETIVA		OCORRÊNCIAS
t1 inicial	t1 final	Tempo da 1ª ocorrência	t2 inicial	t2 final	Tempo da 2ª ocorrência	t3 inicial	t3 final	Tempo da 3ª ocorrência	Tempo total das ocorrências [mm:ss]	Duração Total de Calibração sem ocorrências [mm:ss]	Tempo da calibração efetiva (T-To) [minutos]	Ocorrências (ver "TIPOS DE OCORRÊNCIAS")
09:21:39	09:25:00	03:21	09:30:59	09:40:50	09:51				13:12	26:58	26:97	D:A
09:18	09:18:47	00:20	09:39:00	09:41:00	02:00				02:20	40:20	40:33	I:B
09:20:10	09:20:39	00:29							00:29	04:22	4:85	I
									00:00	16:37	16:62	-
09:35	09:36:47	01:47	09:47:10	09:55:39	08:29	10:01:31	10:02:38	01:07	11:23	26:20	26:33	I:B:M
09:38:41	09:48:00	09:10							09:10	16:47	16:78	A

Referência	CALIBRAÇÃO									TOTAL		CARACTERIZAÇÃO		PONTOS		
	t1 inicio	t2 fim	Tempo de inicialização [mm:ss]	t3 inicio	t4 fim	Calibração [mm:ss]	t5 inicio	t6 fim	Tempo de finalização [mm:ss]	Tempo 'T' [mm:ss]	Tempo 'T' [minutos]	Posto de trabalho	Tipo	Pontos	Tempo efetivo / ponto [mm:ss]	Tempo efetivo / ponto [segundos]
CELE2265/18	09:09:30	09:12:20	02:50	09:12:20	09:52:30	40:10	09:52:30	09:56:42	04:12	47:12	47:20	posto 1	4 dig.	46	00:35	35
CELE2052/18	09:06:29	09:17:20	10:51	09:17:20	10:00:00	42:40	10:00:00	10:07:00	07:00	01:00:31	0:52	posto 1	4 dig.	49	00:49	49
CELE2756/18	09:14:55	09:18:58	04:03	09:18:58	09:23:49	04:51	09:23:49	09:25:58	02:09	11:03	11:05	posto 1	4 dig.	31	00:08	8
CELE3072/18	09:15:11	09:22:37	07:26	09:22:37	09:39:14	16:37	09:39:14	09:45:47	06:33	30:36	30:60	posto 1	5 dig.	57	00:17	17
CELE2291/18	09:22:45	09:30:22	07:37	09:30:22	10:08:05	37:43	10:08:05	10:15:02	06:57	52:17	52:28	posto 1	4 dig.	43	00:37	37
CELE2788/18	09:24:59	09:30:29	05:30	09:30:29	09:56:35	26:06	09:56:35	10:01:55	05:20	36:56	36:93	posto 1	4 dig.	70	00:14	14
CELE3074/18	09:45:57	09:47:57	02:00	09:47:57	09:54:59	07:02	09:54:59	09:57:38	02:39	11:41	11:68	posto 1	4 dig.	32	00:13	13

Figura 16 – Observações recolhidas (Tabela completa Figura B.6 na página 85)

Os tempos que não são considerados calibração, são designados por ‘ocorrências’, que estão caracterizadas na Figura 17. Desta forma é possível perceber quais as ocorrências que mais prejudicam o tempo de calibração.

TIPOS DE OCORRÊNCIAS	A	Troca de fusíveis/pilha e ir buscar fusíveis/pilha
	B	Troca de fusível/pilha
	C	Matriz correta?
	D	Mudança de Matriz
	E	Não se encontra matriz
	F	Mudança na programação, devido a erro.
	G	Posto a ser utilizado, para verificar se um outro equipamento, da parte da reparação, está a funcionar.
	H	Multímetro do cliente não está a trabalhar bem
	I	Esclarecer dúvida
	J	Foi fazer um pedido de outro técnico
	L	Buscar cabos banana
	M	Buscar cabo de temperatura
	N	Trocar cadeira
	O	Verificar se o equipamento está a funcionar corretamente, ou está avariado

Figura 17 – Caracterização dos tipos de ocorrências, durante a calibração

Em relação a esta recolha dos tempos, é feita uma análise com base nas **cartas de controlo**, que deve ser efetuada nesta fase, *Measure*, mas para não voltar a apresentar os mesmos gráficos, aparece apenas, na fase *Analyse*. Onde as cartas de controlo são descritas e analisadas, para uma fase inicial da análise das observações recolhidas.

Simultaneamente, com esta recolha, foram elaborados **diagramas de Spaghetti**, para o posto 1 e 2, separadamente, apresentados nas Figura 18 e Figura 19. Estes diagramas ajudam a ter uma visão real do movimento do técnico, que nos ajuda a perceber quais são os movimentos mais comuns e menos comuns, mais longos e menos longos, que estejam a causar desperdícios.

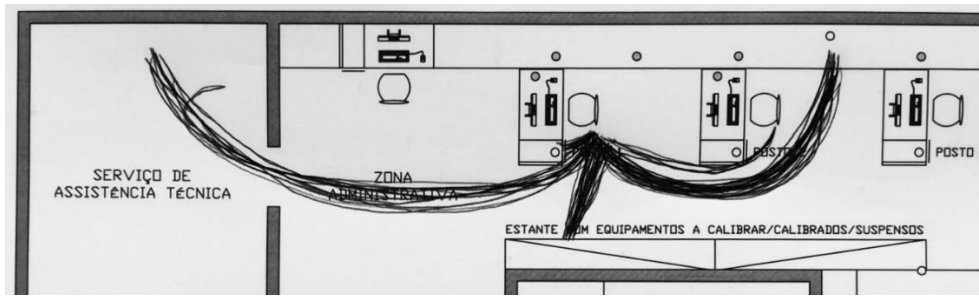


Figura 18 – Diagrama Spaghetti do Posto 1

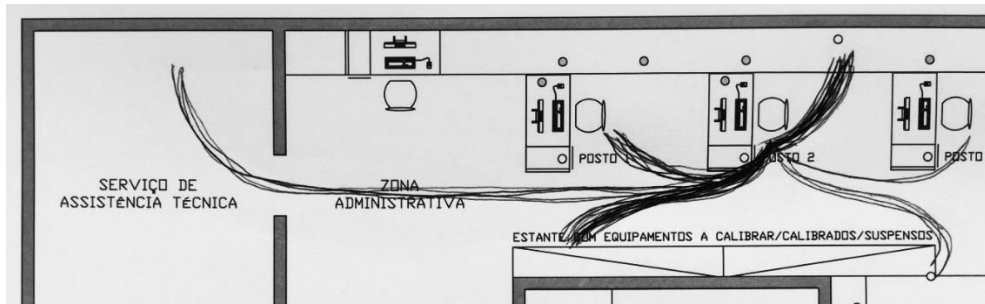


Figura 19 – Diagrama Spaghetti do Posto 2

Face ao ganho que foi obtido através dos diagramas spaghetti, ficou decidido que posteriormente este projeto, seriam feitos diagramas similares para os outros equipamentos.

3.2.2.4 Diagrama Causa-Efeito

Este diagrama, ajuda-nos a ter uma fácil visualização das causas que estejam a bloquear um determinado objetivo. Neste caso, na Figura 20, são apresentadas as várias causas que aumentam o tempo de calibração em mais de metade das calibrações efetuadas. Que através da amostra retirada, foi calculado o tempo médio despendido quando ocorrem estas situações, representando 29% do tempo de calibração.

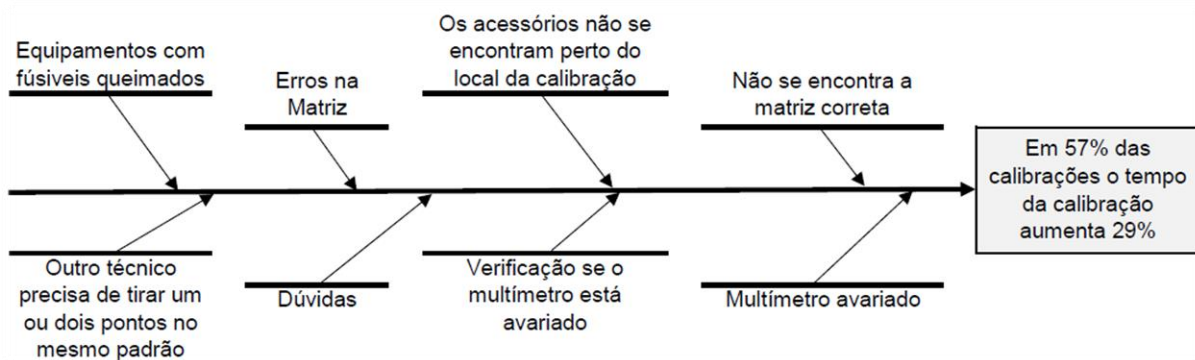


Figura 20 – Diagrama de Causa-Efeito, aumento do tempo de 57% das calibrações de multímetros.

A causa raiz mais crítica deste processo é 'acessórios não se encontram perto do local da calibração'. Na fase *Improve*, é diminuída a percentagem do tempo das ocorrências, de maneira a que estas ocorrências não tenham um peso tão grande no tempo de calibração.

3.2.2.5 Recolha de dados através dos técnicos

Relativamente ao plano de recolha de dados, a metodologia empregue foi criada uma folha de registo de dados que se apresenta na Figura 21. A folha de registos foi entregue nos postos 1, 2 e 3, onde os técnicos tiveram de inserir dados, diariamente, sempre que calibravam um multímetro ou pinça. Esta recolha de dados teve a duração de um mês, desde o dia 4 de abril a 4 de maio do ano de 2018. E teve como objetivo, perceber quais os equipamentos mais utilizados para calibração dos vários tipos de multímetros, e que tipos de multímetros chegavam com mais frequência ao laboratório. Na temos um exemplo real da folha preenchida.

Téc./Est.	Nome	MULTÍMETROS										
		Info.			Tipo de MUL				Padrões			
		Referência	TÉCNICO	Dia	Hora do início da cal.	3 Dig.	4 Dig.	5 Dig.	6 Dig.	5500A	5520A	5720A
A	Téc. David											
B	Téc. Sónia											
C	Téc. Amaral	Ex: CELE1234/18	Y	DD/MM	HH:MM		x				x	
D	Téc. Ricardo											
Duração da recolha de dados:		30 dias										

Figura 21 - Parte da folha entregue aos técnicos para preenchimento

3.2.2.6 DPMO e Nível Sigma

Neste subcapítulo, vamos quantificar qual o nível sigma atual deste processo. Para calcular o nível sigma, foi considerado o tempo por ponto, resultante da divisão do tempo total de calibração, não eliminando o tempo das ocorrências, pelo número de pontos correspondente a cada observação. Foi estabelecido um objetivo, para o tempo ótimo que os estagiários do laboratório devem demorar por ponto medido, sendo ele de 30 segundos, porque as calibrações observadas foram feitas por estagiários. O tem objetivo também tem em conta, o tempo que o multímetro demora estabilizar o valor que é apresentado no display e o tempo que colocar os valores na matriz.

Foi então calculado o **DPMO**, através das 44 observações, em que 18 não atingiam o objetivo, ultrapassando os 30 segundos. Que gera 409.091 defeitos por milhão de oportunidades, que num milhão, representa 41% de defeitos.

Para calcular o **nível sigma** desta amostra, é preciso de:

- Através dos *Boxplots*, ver se existem *outliers*, e eliminar possíveis *outliers* para testar a normalidade da amostra;
- Testar se ela pode seguir uma distribuição normal, efetuado através do Teste de normalidade, segundo o teste de *Anderson-Darling*, não tendo sido rejeitada a hipótese desta amostra seguir uma distribuição normal.

Através do valor de DPMO, conseguimos obter o nível sigma do processo atual. Foi então calculado através de uma folha excel o nível sigma de 0,2.

Na fase *improve*, após a aplicação de soluções de melhoria, este nível irá ser recalculado, sendo esperado que o valor sigma aumenta e o DPMO diminua.

3.2.3 Analyse

Nesta fase, os dados recolhidos na fase *Measure*, são analisados estatisticamente, com o objetivo de extrair informação relevante, e identificar desperdícios existentes.

3.2.3.1 Análise do desempenho histórico do laboratório

Esta análise, tem como objetivo analisar o desempenho do laboratório tendo por base, os equipamentos anteriormente mencionados, até 2017.

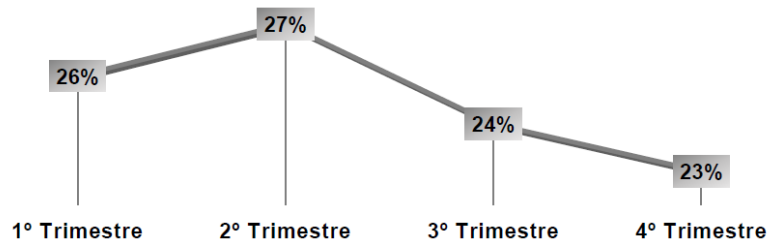


Figura 22 – Percentagem de calibrações dos equipamentos em estudo por trimestre (Fonte: Excel de apoio à equipa *Lean*)

Podemos ver, através da Figura 22, que no segundo trimestre os equipamentos escolhidos, representam 25% do total das calibrações do laboratório, e que no geral a percentagem varia ao longo do ano entre 23% e 27%. Este volume de calibrações, é importante, porque possibilita uma fácil recolha de dados, e rápida observação dos benefícios deste projeto. Passando agora para uma visão micro, onde podemos ver as diferenças entre os equipamentos escolhidos, também trimestralmente.

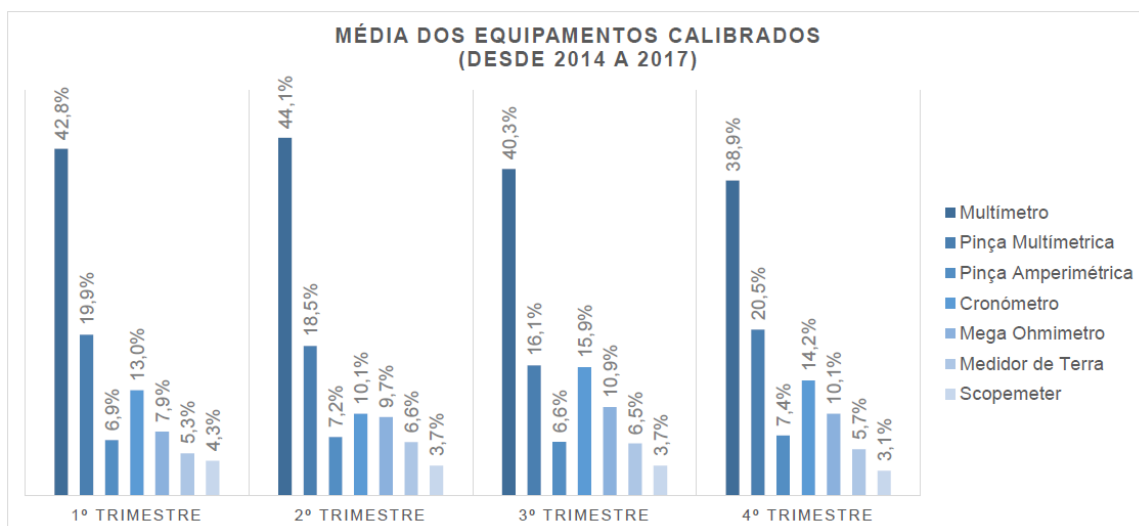


Figura 23 - Média dos Equipamentos, em estudo, calibrados por trimestre (Fonte: Excel de apoio à equipa *Lean*)

Na Figura 23, podemos observar que em todos os trimestres, os multímetros são os equipamentos que chegam com mais frequência ao laboratório, representando 42% dos equipamentos, relativamente à totalidade.

Relativamente ao lead time dos multímetros, o comportamento do mesmo pode ser verificado na Figura 24, no qual temos no eixo vertical a quantidade de multímetros e no horizontal o *lead time*.

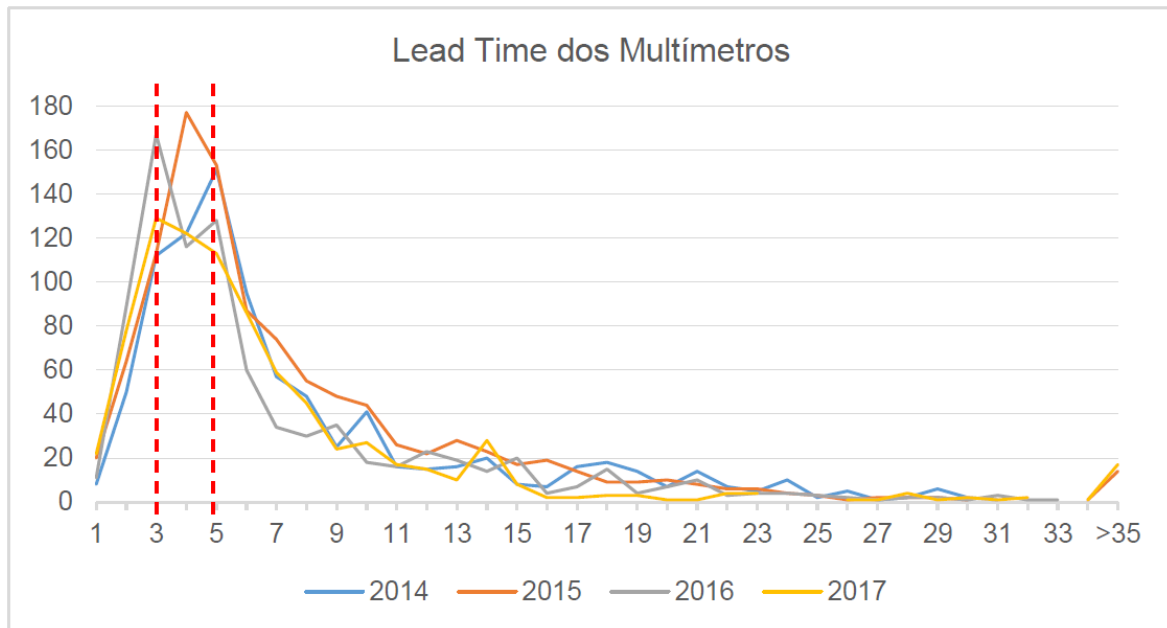


Figura 24 – LeadTime dos Multímetros (2014 a 2017) (Fonte: Excel de apoio à equipa Lean)

Neste gráfico, o desejável é haver um declive acentuado, na parte inicial, que permita que o cliente receba o seu equipamento em menos de 5 dias. Mas não é desejável que o declive seja muito elevado, porque se for, quer dizer que o cliente recebe o seu equipamento muito antes dos 5 dias, e ele não paga mais por isso, desempenho este que não é valorizado pelo cliente. O objetivo do laboratório é entregar os equipamentos entre o terceiro e o quinto dia, como aconteceu no ano 2016, que houve um pico no terceiro dia.

De uma forma geral, podemos concluir que a maior parte dos multímetros são entregues num prazo de dois a sete dias. Em 2017 houve:

- um menor número de multímetros calibrados, relativamente aos anos anteriores;
- um pico positivo, no décimo quarto dia, situação não desejável, que pode ter ocorrido por diversas razões, como por exemplo: houve falta de equipamentos em laboratório, por se encontrarem no exterior; porque o multímetro passou pelo estado 'suspenso'; porque o cliente ainda não aceitou o orçamento ou porque os multímetros precisaram de ser reparados.

Podemos concluir que o objetivo de entregar o equipamento, num prazo máximo de 5 dias, não está a ser cumprido. O comportamento desejável é apresentado no gráfico da Figura 25.

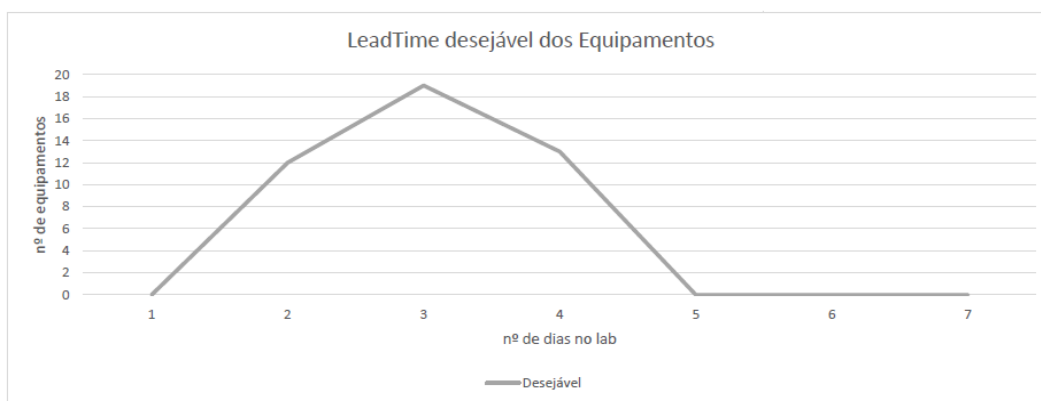


Figura 25 – Gráfico desejável do *Lead Time* dos equipamentos (Fonte: Excel de apoio à equipa *Lean*)

Também foi possível recolher informações acerca da sazonalidade associada à chegada dos multímetros, apresentado na figura seguinte.

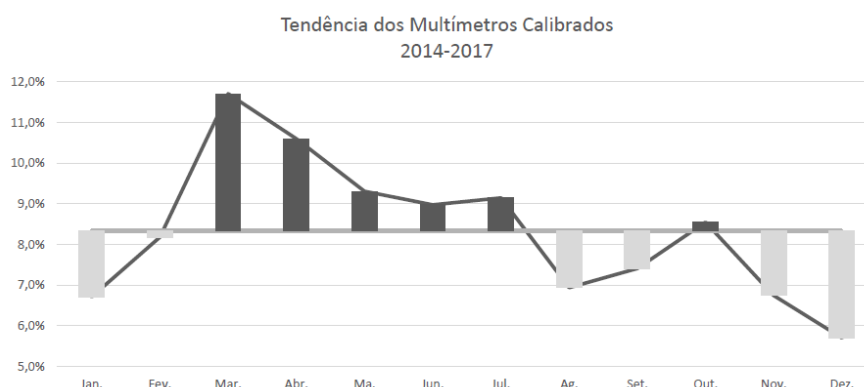


Figura 26 – Distribuição anual e percentual dos multímetros calibrados (Fonte: Excel de apoio à equipa *Lean*)

Na Figura 26, tendo em conta os anos anteriores, podemos concluir que a tendência é haver uma baixa percentagem de multímetros calibrados principalmente nos meses de janeiro, agosto e dezembro. Em contraste, temos o mês de março, onde são apresentados valores com uma diferença de 3%, relativamente à média, e apresentando uma produção de quase o dobro, daquilo que foi produzido nos meses de janeiro e dezembro. Verifica-se ainda um decréscimo do número de calibrações de março até agosto.

Existem inúmeros fatores que podem afetar o desempenho anteriormente mencionado, por exemplo, se um equipamento for calibrado por um estagiário, este deve ser inspecionado por um técnico antes do equipamento passar para o estado 'Calibrado', reduzindo o desempenho do laboratório.

3.2.3.2 Recolha de dados presencialmente

3.2.3.2.1 *Análise dos dados*

Ao longo de um mês foram recolhidos dados em diferentes dias da semana (quartas e sextas feiras), em diferentes períodos do dia e à medida que estes dados foram recolhidos, foi feita uma análise preliminar dos tempos de calibração e dos tempos por ponto.

Relativamente à amostra recolhida, foi caracterizada em duas amostras separadas:

- Tempos de calibração – tempo total da calibração eliminando o tempo das ocorrências;
- Tempos por ponto – tempo de calibração total dividido pelo número de pontos medidos, porque os multímetros têm um número de pontos diferentes a serem medidos.

De forma a fazer uma análise qualitativa do desempenho do laboratório relativamente às métricas criadas anteriormente, foram criados histogramas que podemos ver na figura 27.

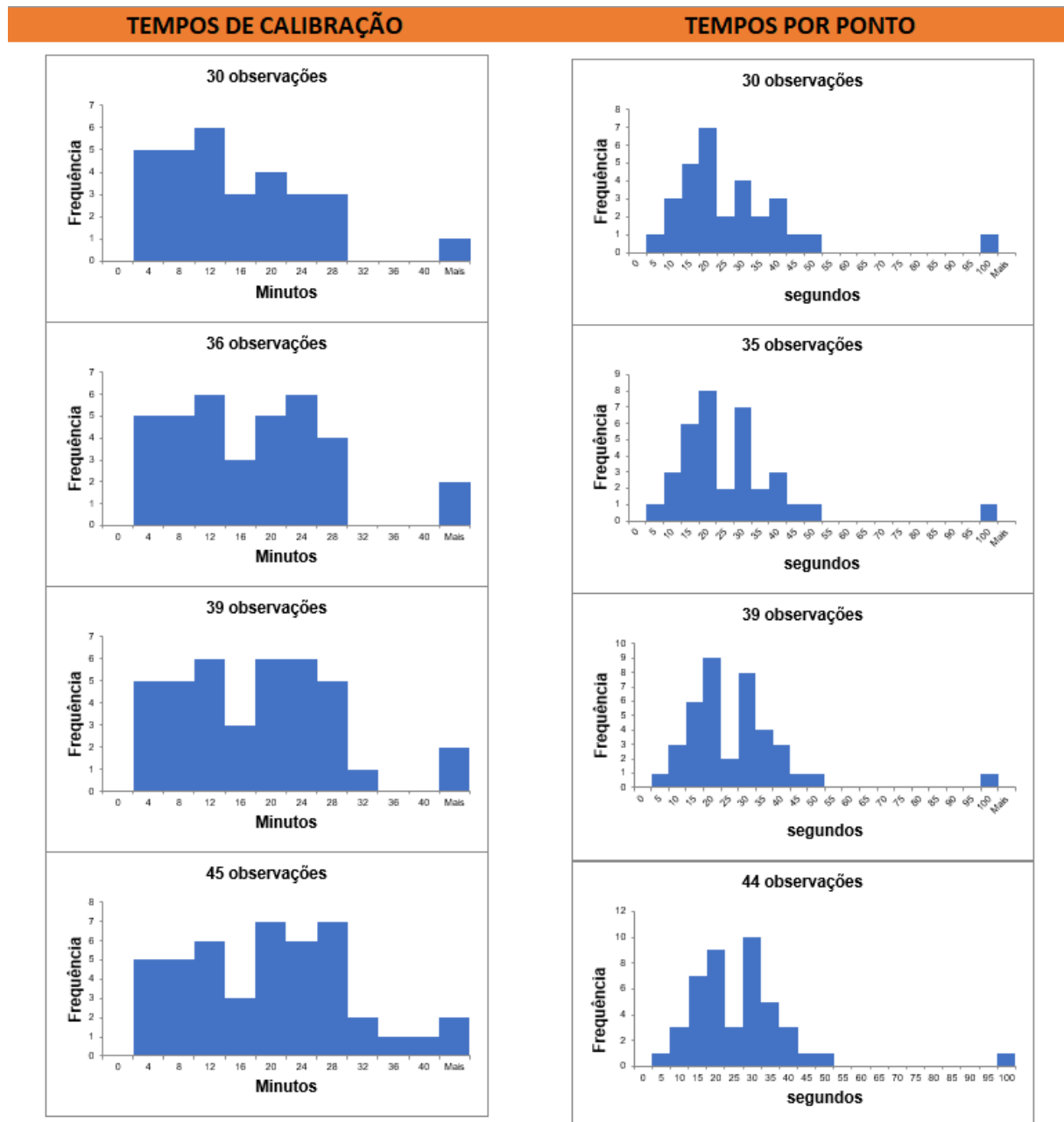


Figura 27 - Histogramas para várias observações

Numa análise estatística, são feitos em seguida os *boxplot* dos tempos por ponto, para percebermos se os pontos afastados podem ser considerados *outliers* e se sim, quais são essas observações e se são de causa especial ou comum.

A. BoxPlot

Os *boxplots*, ajudam-nos a ter uma perceção simples e exibe o intervalo completo de variação (mínimo e máximo), o intervalo provável de variação (intervalo interquartil) e o valor típico (mediana) da amostra em estudo. Com estes gráficos conseguimos identificar valores existentes na amostra que sejam *outliers*.

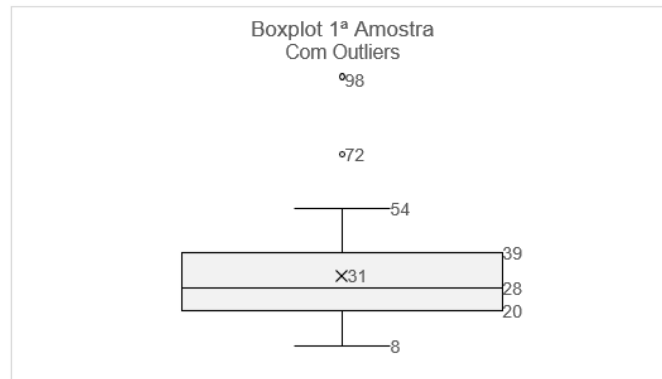


Figura 28 – Amostra dos tempos por ponto, com *outliers* (em segundos)

Através da Figura 28, podemos observar que existem dois valores observados que foram considerados *outliers*, o de 98 e 72 segundos, apresentando uma média de 31 segundos e uma mediana de 28 segundos.

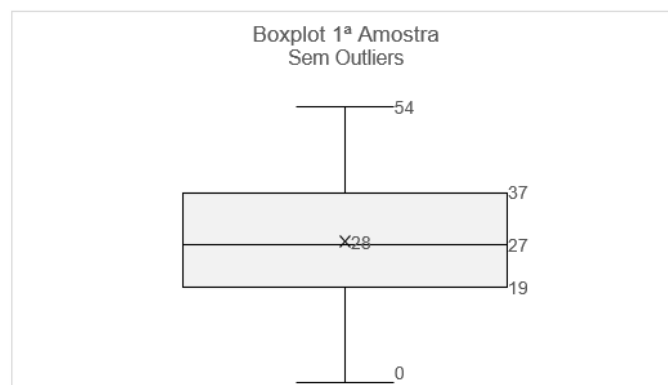


Figura 29 – Amostra dos tempos por ponto, sem *outliers* (em segundos)

Como foram identificados *outliers*, estes foram eliminados por não ter sido encontrado a causa raiz, e se poder tratar de causas especiais. Foi elaborado um novo *boxplot* da amostra, apresentado na Figura 29, onde podemos ver que ao eliminarmos aqueles dois valores, a média baixou para um valor aproximado do valor da mediana, resultando num valor médio de 28 e uma mediana de 27 segundos, isto porque a amostra já não está a ser influenciada por aqueles dois valores que podem ter derivado de uma causa especial.

B. Cartas de Controlo

As cartas de controlo ajudam-nos a perceber se todas as observações recolhidas podem ser utilizadas, de maneira a que não influenciem erradamente, os resultados finais.

Esta análise limita as observações recolhidas, através de dois limites de controlo, um limite de controlo superior (UCL), e um inferior (LCL), ambos com um afastamento de três desvios padrão da linha média. Caso haja alguma observação fora dos limites de controlo, esta não deve ser tida em conta se se tratar de uma causa especial, mas caso seja uma causa comum, deve ser estudada.

1. Tempos por ponto

Foram então calculadas e representadas as cartas para os valores individuais, designadas por Cartas I, de modo a monitorizar a centralização do processo e as cartas de controlo das amplitudes móveis, designadas por Cartas MR, para monitorizar a variação. Estas cartas são utilizadas nestes dados por estes não poderem ser agrupados em subgrupos. As fórmulas utilizadas para calcular os limites são apresentados no anexo A. Estas observações foram efetuadas às quartas e sextas feiras, da parte da manhã e de tarde.

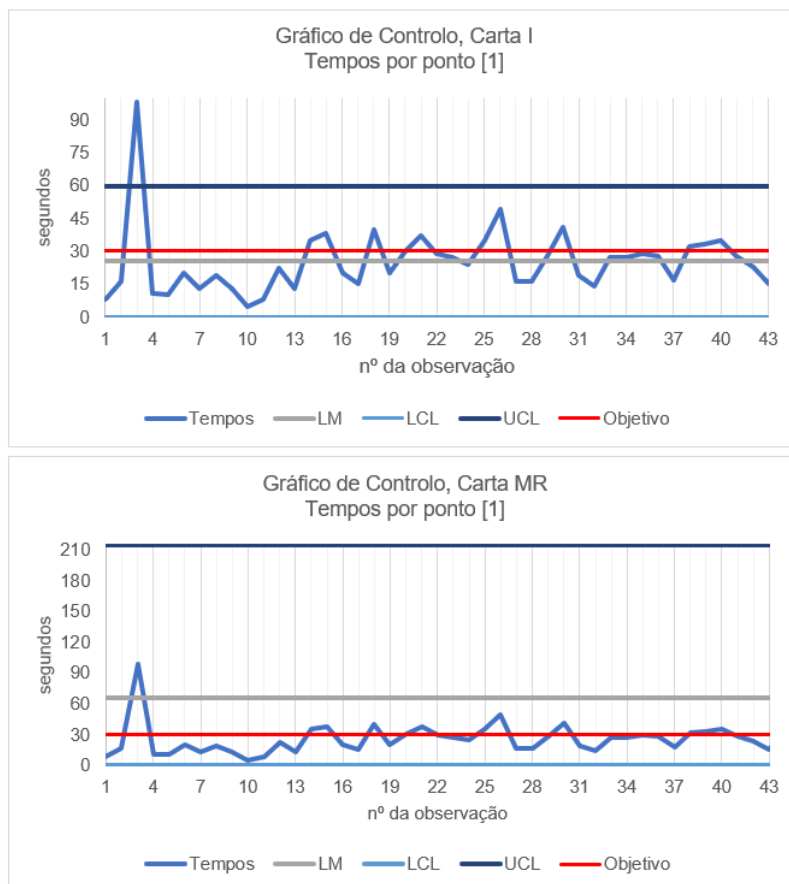


Figura 30 – Cartas de Controlo I-MR dos tempos por ponto

Como podemos observar na figura 30 anterior, existe um ponto que se encontra fora das linhas de controlo, na carta I. Segundo Costa A., et al (2004), temos de seguir os seguintes passos: 1º - investigar o processo, 2º - caso não seja diagnosticada a causa, e o ponto tratar-se de uma causa especial, temos duas alternativas:

- Não eliminar o ponto e utilizar o gráfico;
- Eliminar o ponto e recalcular os limites de controlo.

A opção escolhida foi eliminar o ponto e recalcular os limites. Que resultou nas cartas apresentadas na Figura 31.

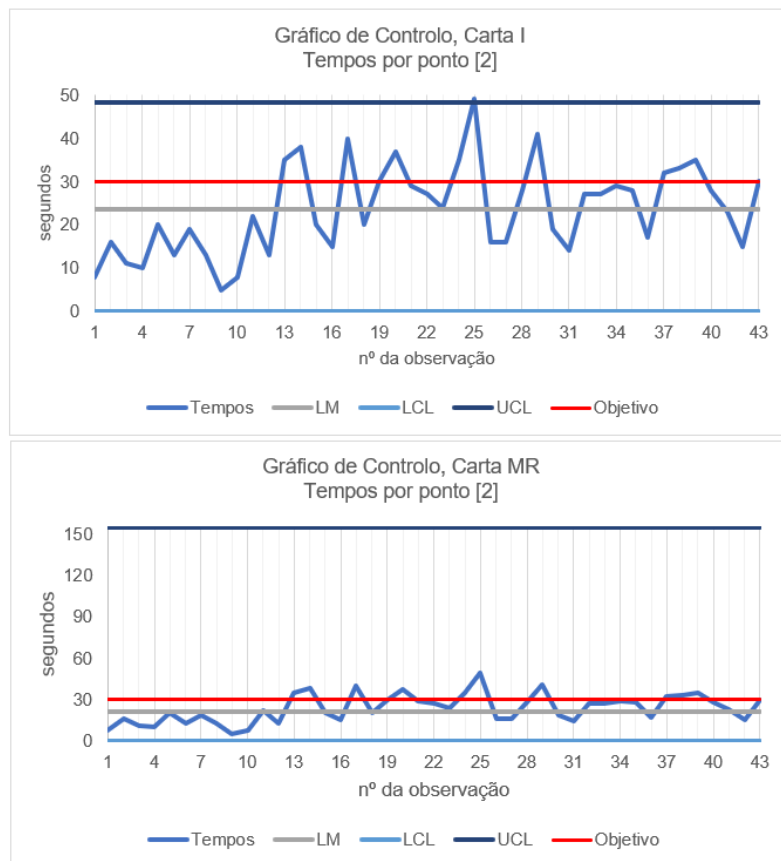


Figura 31 – Cartas de Controlo dos tempos por ponto, sem outliers

Na Figura 31, temos os novos gráficos de controlo, sem o outlier encontrado na Figura 30, que representava uma observação de 98 segundos. Podemos concluir, através do gráfico de controlo I, que existe uma centralização do processo à volta da média dos valores individuais, com um afastamento de três sigma do valor central. Na mesma carta, existe agora um ponto, observação número 25, que está um pouco a cima do limite de controlo, mas foi decidido mantê-la, por não ter uma discrepância significativa, em relação a todas as outras observações. Na carta MR, podemos concluir que não existe uma grande variação no processo analisado. Podemos ver ainda, na carta I, que existe uma tendência inicial, onde o tempo das calibrações efetuadas foi aumentando até à observação número 13, isto pode estar relacionado com o fato das calibrações terem sido feitas por dois estagiários, em que um deles estava a estagiar no laboratório pela primeira vez e o outro era um estagiário mais experiente.

Foi ainda criado um limite, apresentado a vermelho e designado por objetivo, que é o tempo que o laboratório acha considerável para a medição de cada ponto, 30 segundos.

2. Tempos de calibração

Agora relativamente aos tempos de calibração, foram obtidas as cartas apresentadas na Figura 32, que segue uma ordem cronológica.

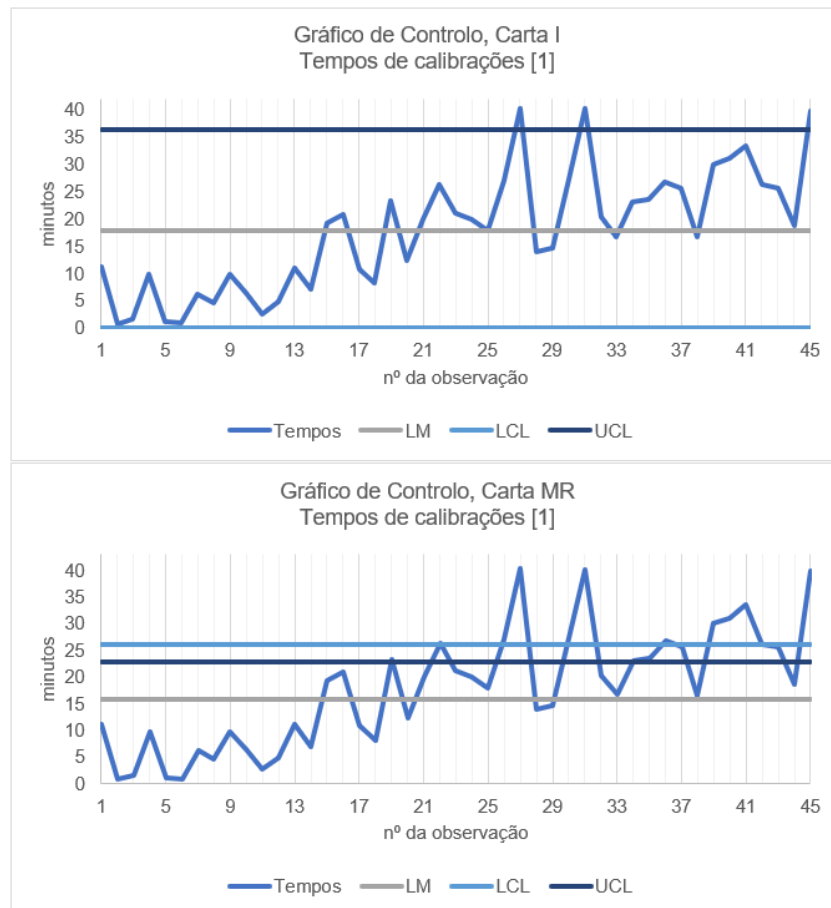


Figura 32 – Cartas de Controlo dos tempos de calibração

Na Figura 32, podemos ver que na carta I, existem três pontos que se encontram a cima do limite superior de controlo, e por serem mais que um, a causa tem de ser analisada e não podemos apenas eliminá-lo como foi feito anteriormente. Segundo Costa A., et al (2004), o processo tem de ser investigado e a causa diagnosticada, relativamente a cada ponto. Causas do:

- ✓ **1º ponto fora:** tempo de recomeço da calibração, após as duas ocorrências; pequenos erros na programação que não foram contabilizados; o sistema subcarregado, tornando o computador mais lento.
- ✓ **2º ponto fora:** semelhante ao 1º ponto, mas neste ponto, temos a diferença que em vez de duas ocorrências, ocorreram três.
- ✓ **3º ponto fora:** observação com o maior número de pontos da amostra. Esta é uma das razões, pela qual é importante dividir o tempo de calibração pelo número de pontos. É de esperar que esta observação tenha demorado mais tempo que todas as outras.

Como é possível diagnosticar as causas destes pontos, podemos eliminá-los e recalculas as cartas de controlo, que são apresentadas na figura seguinte.

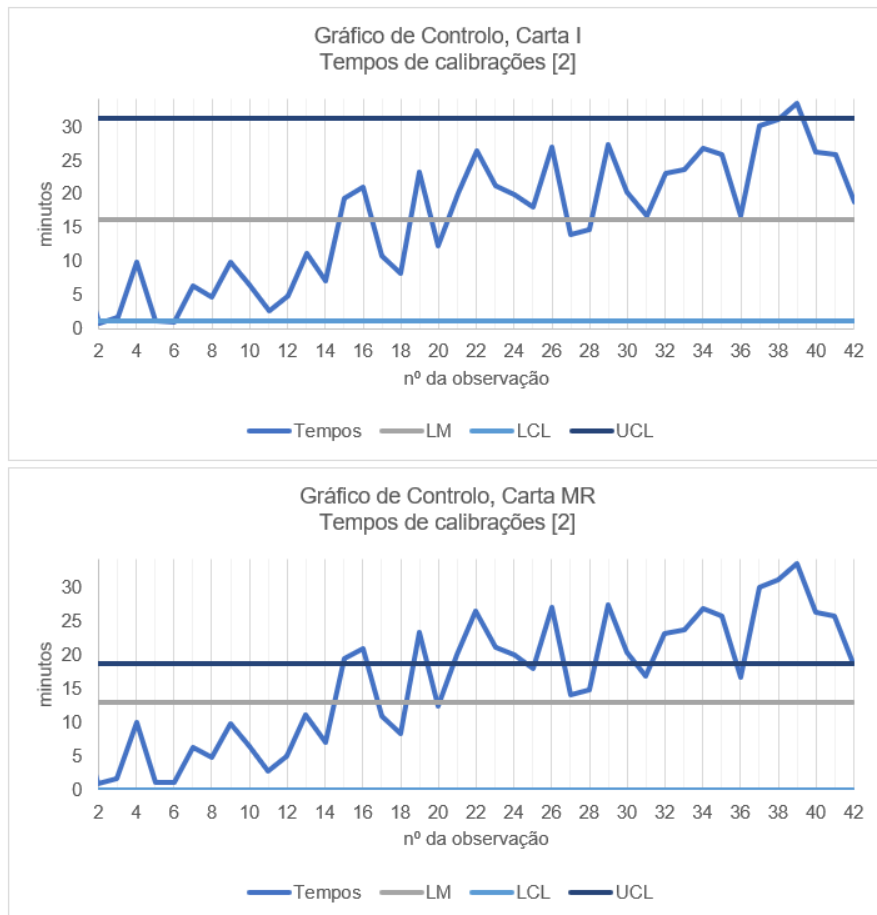


Figura 33 – Cartas de Controlo dos tempos por ponto, sem outliers

Nas cartas de controlo recalculadas, podemos ver que existe novamente um ponto que se encontra fora do limite superior de controlo, mas tal como foi feito na análise dos tempos por ponto, vamos manter o ponto, por ele não divergir muito em relação às restantes observações. Na carta I, podemos ver que o processo não está bem centralizado, e isto pode ser explicado através da variação, que aparece na carta MR da Figura 33.

Relativamente à carta MR da Figura 32, existe uma melhoria, havendo mais observações dentro dos limites, com um afastamento de três sigma. E conclui-se que este é um processo não controlado. A razão pela qual existe tanta variabilidade, também tem a ver com a grande variabilidade de tipos de matrizes, havendo matrizes desde 6 pontos a 80 pontos, que como é de esperar gera uma enorme variabilidade no processo. Por esta razão, a análise aos tempos por ponto é mais fiável, que como se pôde ver, é um processo centralizado e de baixa variabilidade.

Na Figura 31, Figura 32 e Figura 33, nota-se uma tendência inicial, essencialmente nas Cartas I. A causa desta tendência pode ter surgido por estas calibrações terem sido feitas por estagiários, que com o passar do tempo, foram ganhando experiência, criando a sua própria média ao longo das observações recolhidas. Esta tendência inicial, suscita algumas questões: E se a calibração tivesse sido feita pelos técnicos? A tendência desaparecia? E a média diminuía? Esta é uma questão que seria interessante de abordar, mas como os multímetros são equipamentos simples de calibrar, enquanto houverem estagiários no laboratório, grande parte dos multímetros serão calibrados por eles.

No anexo B.1.7 Cartas de Controlo por ordem temporal, página 87, são apresentadas outras cartas de controlo dos tempos por ponto, mas organizadas de maneira diferente, por horas de calibração.

C. Ajustamento dos dados a uma distribuição teórica

1. Tempos por ponto

Para realizar uma análise qualitativa, os dados foram apresentados através de histogramas, conforme Figura 34.

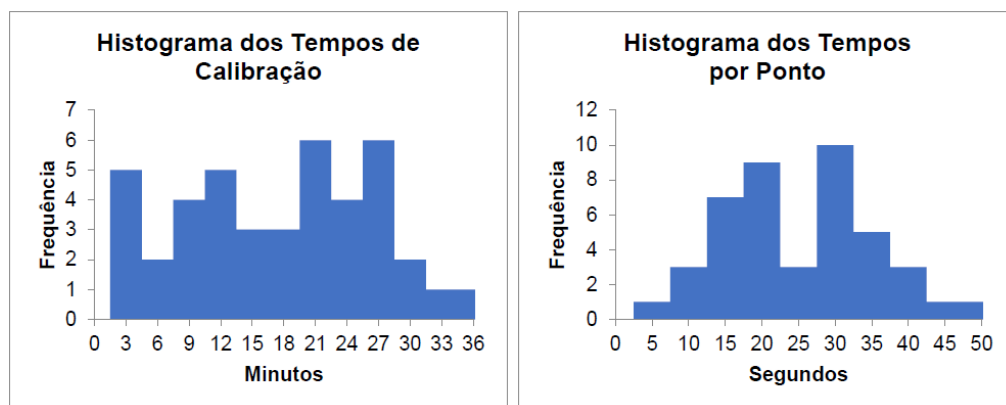


Figura 34 – Histogramas dos Tempos recolhidos, sem outliers

Com o objetivo de procurar uma distribuição que melhor se aproxime do comportamento das observações obtidas, efetuou-se o seguinte teste de hipóteses. O teste de hipótese realizado teve por base, o teste de *Anderson-Darling*.

- H_0 (hipótese nula): os dados seguem uma distribuição específica;
- H_1 (hipótese alternativa): os dados não seguem uma distribuição específica.

Os resultados do teste *Anderson-Darling*, para os tempos por ponto, são os apresentados na Figura 35. Segundo o teste *Anderson-Darling*, a distribuição teórica que melhor se adapta à amostra é uma *Generalized Gamma* de quatro parâmetros, apresentando um valor de estatística de 0,2098, que quanto menor for este valor, melhor. Na página 88, Tabela B.3, temos as outras distribuições teóricas que também podiam ser adaptadas à nossa amostra.

Anderson-Darling					
Sample Size	43				
Statistic	0,2098				
Rank	1				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Reject?	No	No	No	No	No

Figura 35 - Resultados do teste *Anderson Darling* para os tempos por ponto (Fonte: Programa *EasyFit*)

Foi ainda feita a comparação da distribuição teórica, com a distribuição da amostra, através de dois métodos gráficos, os *QQ-Plots* e os *PP-Plots*.

Os gráficos *QQ-Plots*, apresentam uma função de densidade de probabilidade (PDF – *probability density function*). O Q significa quantil, que são pontos estabelecidos em intervalos regulares a partir da função distribuição acumulada (FDA) de uma variável aleatória. Os quantis dividem os dados ordenados em subconjuntos de dados de dimensão essencialmente igual. Caso as duas distribuições sejam semelhantes, os pontos no gráfico QQ vão sobrepor a linha $y=x$. Os gráficos são apresentados na Figura 36.

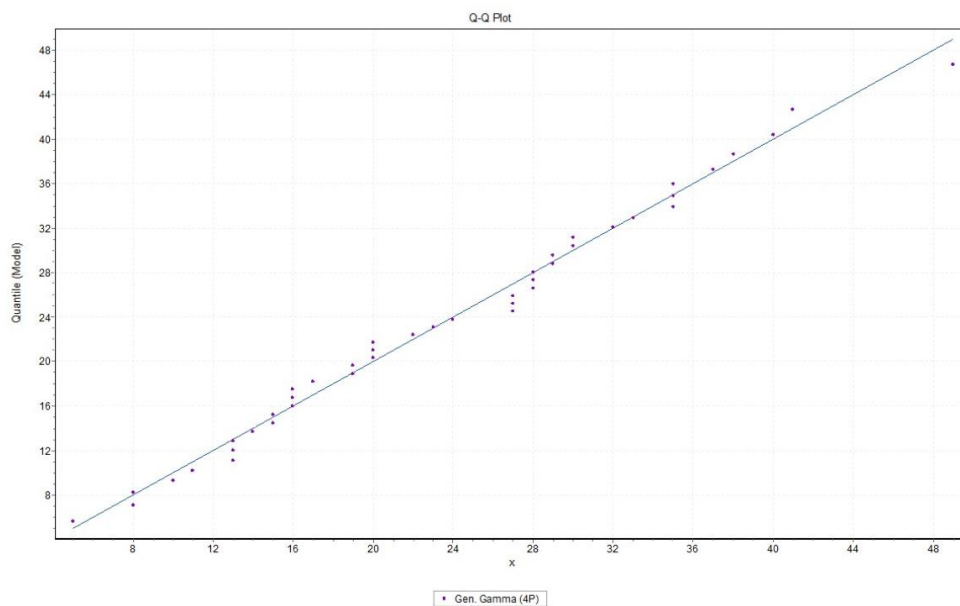


Figura 36 – *QQ-Plots* entre a distribuição da amostra e a distribuições teóricas *Generalized Gamma* de quatro parâmetros

Os gráficos *PP-Plots*, apresentam uma função de distribuição cumulativa (CDF – *Cumulative Distribution Function*). O P significa probabilidade.

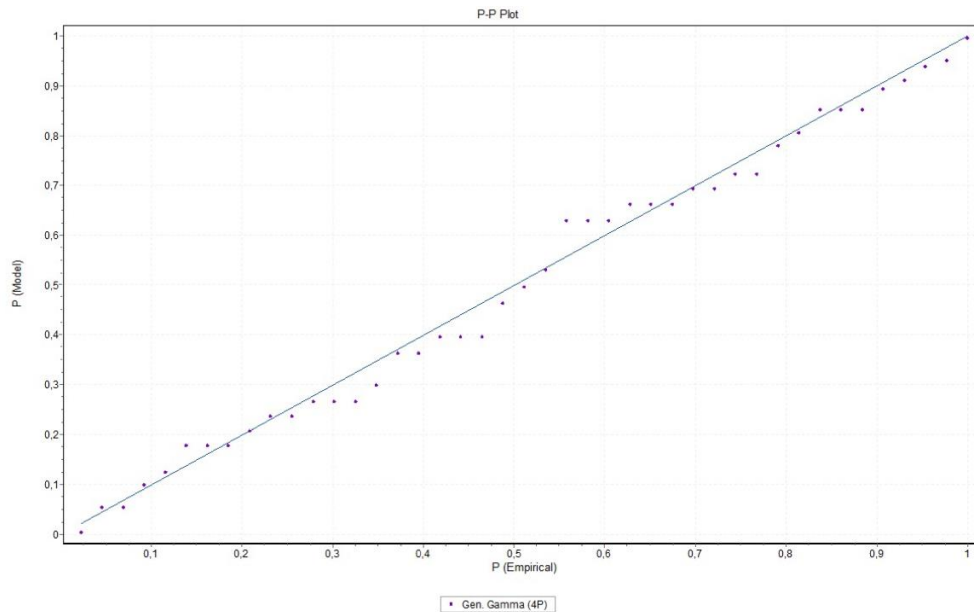


Figura 37 - PP-Plots entre a distribuição da amostra e a distribuição teórica *Generalized Gamma* de quatro parâmetros (Fonte: Programa *EasyFit*)

Podemos ver, através dos PP-Plots e dos QQ-Plots, que a distribuição da amostra oscila à volta da distribuição teórica, com um pequeno afastamento. É possível utilizar, segundo este método, uma **Generalized Gamma**.

Concluimos através dos valores de estatística e através dos gráficos QQ e PP, que a distribuição teórica não é perfeita, mas pode ser adaptada para representar a distribuição da amostra dos tempos por ponto.

2. Tempos de calibração

Para os tempos de calibração os resultados do teste *Anderson-Darling* são os apresentados na Figura 38.

Anderson-Darling					
Sample Size	42				
Statistic	0,23129				
Rank	1				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Reject?	No	No	No	No	No

Figura 38 - Resultados do teste *Anderson Darling* para os tempos de calibração (Fonte: Programa *EasyFit*)

Segundo o teste *Anderson-Darling*, a distribuição teórica que se adapta melhor à amostra, é uma Error de três parâmetros, apresentando um valor de estatística de 0,23129, que quanto menor for este valor, melhor. Na Tabela B.3, página 88, temos as outras distribuições teóricas que também podiam ser adaptadas à nossa amostra.

Foi ainda feita a comparação da distribuição teórica, com a distribuição da amostra, através de dois métodos gráficos, os *QQ-Plots* e os *PP-Plots*. Os gráficos QQ são apresentados na Figura 36, e os PP na figura Figura 40.

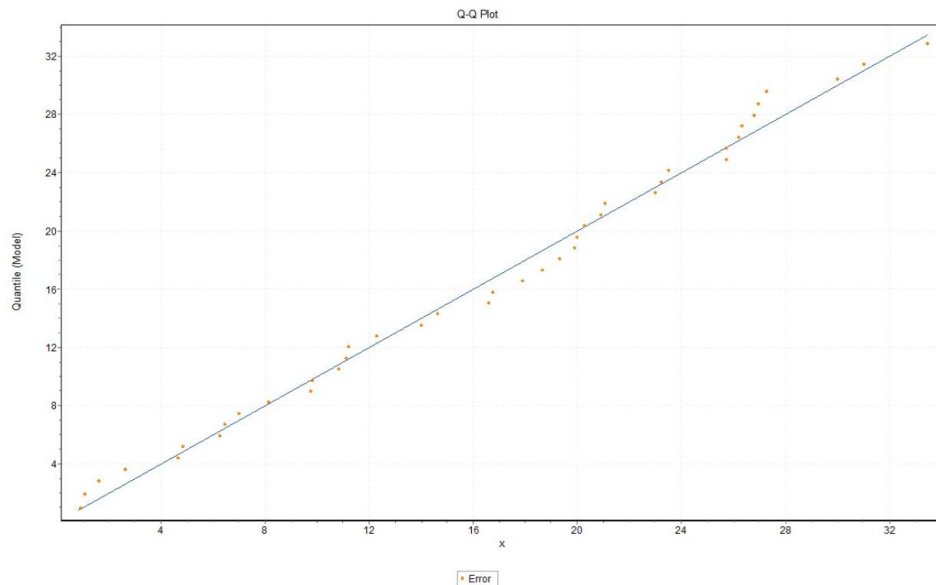


Figura 39 – *QQ-Plots* entre a distribuição da amostra e a distribuição teórica *Error*
(Fonte: Programa *EasyFit*)

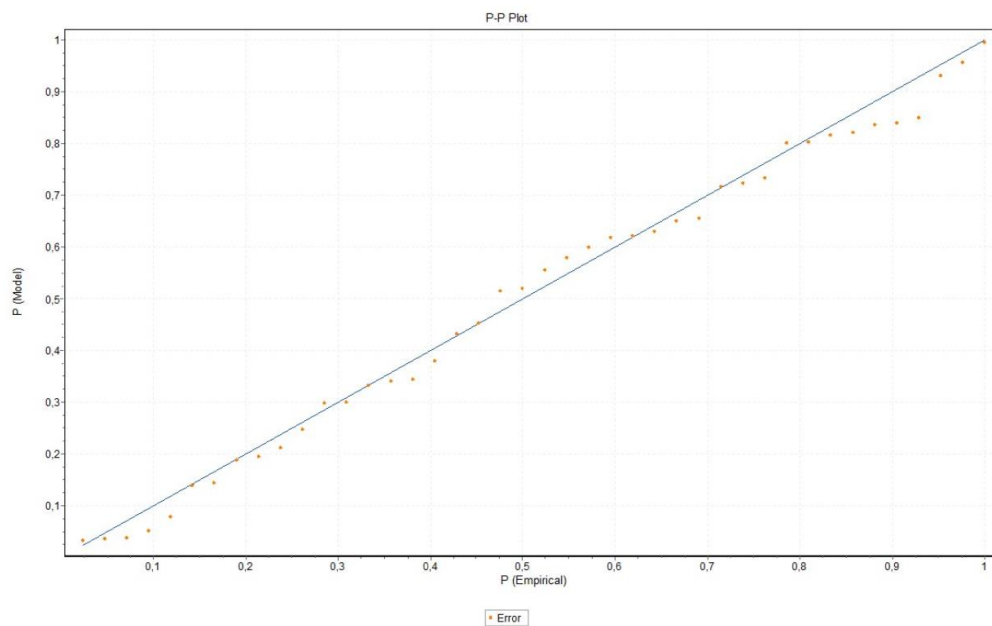


Figura 40 - *PP-Plots* entre a distribuição da amostra e a distribuição teórica com a *Error*
(Fonte: Programa *EasyFit*)

Podemos ver, através dos *PP-Plots* e dos *QQ-Plots*, que a distribuição da amostra oscila à volta da distribuição teórica, com um pequeno afastamento. É possível utilizar, segundo este método, uma *Error*. Concluímos através dos valores de estatística e através dos gráficos QQ e PP, que a distribuição teórica não é perfeita, mas pode ser adaptada para representar a distribuição da amostra dos tempos por ponto.

Concluindo, no caso da amostra dos tempos por ponto, é escolhida a distribuição Generalized Gamma (4P). E na amostra dos tempos de calibração, a distribuição Error (3P). Na Figura 41, podemos ver os valores dos parâmetros de cada distribuição.

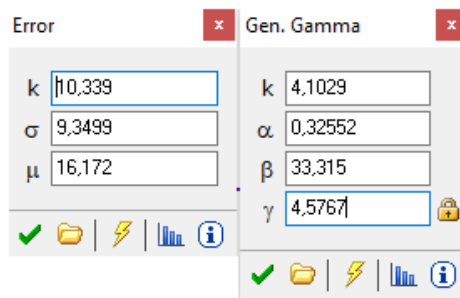


Figura 41 - Parâmetros das Distribuições escolhidas

Através da Figura 42, relativamente à distribuição teórica *Error* podemos ver que os tempos de calibração têm a mesma probabilidade de ocorrerem, ou seja, tanto podemos ter uma calibração de 2 minutos, como uma calibração de 30 minutos. Esta conclusão era esperada, visto que existe uma grande variabilidade de matrizes, umas mais longas que outras. É por esta razão que a divisão dos tempos de calibração a dividir pelo número de pontos medidos, deve ser feita. Através do gráfico da Generalized Gamma, podemos ver que o tempo que o técnico demora a tirar os pontos, geralmente demora 23 segundos.

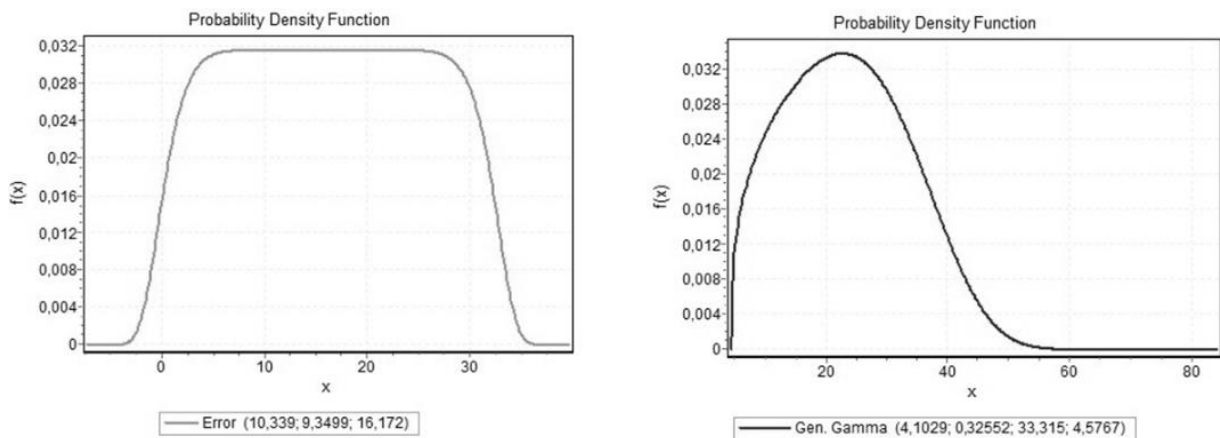


Figura 42 – À esquerda temos o comportamento dos tempos de calibração e à direita temos o comportamento dos tempos dos tempos por ponto (Fonte: Programa *EasyFit*)

Nos anexos página 86, as distribuições teóricas que melhor se adaptaram às nossas amostras são descritas.

3.2.3.2.2 Observações

Com esta recolha é possível responder a questões caracterizadas seguintes:

1. Em média, quanto tempo demora o técnico a medir cada ponto?
2. Qual a duração de uma calibração?
3. Que tipo de multímetros chegam mais ao laboratório?

4. **Quantos multímetros são possíveis calibrar num ano? Num mês? Num dia?**
5. **Quais são as ocorrências mais frequentes, qual a média da sua duração, e quais as mais críticas?**
6. **O comportamento dos dados recolhidos pode ser aproximado a uma distribuição normal?**
7. **Qual a influência das ocorrências no tempo de calibração?**
8. **Relação entre as ocorrências, e os diagramas spaghetti.**
9. **Relação entre os pontos e o tempo de calibração.**

Respondendo às questões:

1. Em média, quanto tempo demora o técnico a medir cada ponto?

Esta foi uma forma de uniformizar o tempo, por existir uma grande variabilidade de matrizes, e cada matriz ter um certo número de pontos. Durante a recolha, encontrámos matrizes desde 6 pontos até 80 pontos. A partir de uma amostra com 42 observações, obteve-se uma média de 16 segundos por ponto.

2. Qual a duração de uma calibração?

Para obtermos este tempo, foi necessário subtrair todos os tempos das ocorrências que ocorreram durante algumas calibrações ao tempo total da calibração. Ficamos assim só com o tempo da calibração efetiva. A partir de uma amostra com 43 observações, obteve-se uma média de 24 minutos por calibração.

3. Que tipo de multímetros chegam mais ao laboratório?

Os multímetros são caracterizados em quatro tipos: multímetros de 3 dígitos, 4 dígitos, 5 dígitos e 6 dígitos. Esta diferença é observada através do display através do número máximo de dígitos que o multímetro consegue apresentar.

Através das 44 observações recolhidas, concluiu-se que os multímetros que mais aparecem no laboratório são os multímetros de 4 e 5 dígitos, 73% e 27%, respetivamente. E não foram registados multímetros de 3 e 6 dígitos. Entre os dois tipos de multímetros observados, notou-se uma diferença de cerca de 30% entre eles, na Tabela 9 é apresentada a percentagem correspondente a cada um.

Tabela 9 – Peso de cada tipo de multímetro

Tipo de multímetros	Percentagem
3 Dig.	0%
4 Dig.	73%
5 Dig.	27%
6 Dig.	0%

4. Quantos multímetros são possíveis calibrar num ano? Num mês? Num dia?

Através do tempo médio de calibração e do tempo útil disponível, foi possível chegar a este resultado. Considerando 250 dias úteis, de 2017, que corresponde a 72000 minutos/ano, este valor foi multiplicado pelo tempo útil diário, retirando as horas de intervalo (total de 1 hora) e almoço (1 hora). Dividindo pela média do tempo de calibração dá um total de 3 mil calibrações anuais e 12 calibrações diárias, por técnico.

5. Quais são as ocorrências mais frequentes, qual a média da sua duração, e quais são mais críticas?

Através das várias observações, é possível identificar as ocorrências que acontecem durante a calibração, e quais são as mais críticas. Para responder a esta questão foi criada uma tabela, apresentada na Tabela 10, que torna mais simples a visualização das ocorrências críticas.

Tabela 10 – Tempo médio por tipo de ocorrência

	Nº de ocorrências	média (minutos)	%
A	9	06:41	24%
B	5	03:43	14%
C	1	05:00	3%
D	1	03:21	3%
E	1	07:12	3%
F	3	10:03	8%
G	1	05:00	3%
H	1	01:28	3%
I	6	03:33	16%
J	1	00:41	3%
L	2	01:06	5%
M	4	01:12	11%
N	1	00:42	3%
O	1	07:22	3%

É possível identificar através da tabela 10, as ocorrências que mais influenciam o processo de calibração de multímetros. Sendo as mais críticas, tendo em conta a sua duração e frequência, a A, B, I e F.

- **Ocorrência A**, que demora em média 6 minutos e 41 segundos, ocorre 24% das vezes, representando a 'Troca de fusíveis/pilha e procurar fusíveis/pilha'. Este tempo é longo porque, os técnicos levantam-se para ir procurar uma ferramenta para abrir o multímetro e um fusível para substituir, que frequentemente se encontra fundido.
- **Ocorrência B**, com 14%, é semelhante à ocorrência A, mas com a pequena diferença de que os técnicos já tinham a ferramenta por perto, e foi necessário encontrar apenas, um fusível.
- **Ocorrência I**, que representa 'Esclarecer dúvida', com 16%. Geralmente a causa da dúvida está nos erros que aparecem na programação, ou alguma ligação que não está correta.
- **Ocorrência F**, que representa 'Mudança na programação, devido a erro', que ocorre apenas 8% das vezes, mas que quando acontece tem uma duração média de 10 minutos.

6. O comportamento dos dados recolhidos pode ser aproximado a uma distribuição normal?

Para testar a normalidade deste processo, utilizamos o teste de Anderson-Darling, que é um teste de hipóteses, que vai testar a probabilidade da nossa amostra de aproximar de uma distribuição normal. Os valores foram obtidos no programa RStudio:

```
> #TEMPOS DE CALIBRAÇÃO
>
> ad.test(tempos.de.calibra.)

Anderson-Darling normality test

data:  tempos.de.calibra.
A = 0.53699, p-value = 0.1592
```

Figura 43 – Resultados do teste à normalidade dos tempos de calibração [Fonte: Programa RStudio]


```

> #TEMPOS POR PONTO
> ad.test(tempos.por.ponto)

Anderson-Darling normality test

data:  tempos.por.ponto
A = 0.3663, p-value = 0.4185

```

Figura 44 – Resultados do teste à normalidade dos tempos por ponto [Fonte: Programa RStudio]

Tanto nos tempos de calibração como nos tempos por ponto, p-value é superior a 0,05, confirmando que se rejeita a hipótese de os dados não poderem ser aproximados a uma distribuição, ou seja, rejeita-se a hipótese de não seguir uma distribuição normal. Ou seja, os dados podem seguir uma distribuição normal.

7. Qual a influência das ocorrências no tempo de calibração?

Através da comparação de observações que tenham o mesmo número de pontos, conseguimos perceber qual a influência das ocorrências no tempo de calibração. Foram escolhidos os conjuntos de observações que tenham o mesmo número de pontos. Na Tabela 11, temos os conjuntos encontrados que satisfazem as condições mencionadas. O tempo de calibração apresentado na primeira coluna da tabela, é o tempo efetivo da calibração, ou seja, o tempo total da calibração, sem os tempos das ocorrências.

Tabela 11 – Influência das ocorrências no tempo de calibração

	Tempo de Calibração [min.]	Nº de ocorrências	Tempos das ocorrências [min.]	Média do tempo de cal. [min.]
6 pontos	1	0	-	1
	2	0	-	
	1	0	-	
	1	0	-	
31 pontos	10	0	-	7
	5	1	0	
	6	1	4	
	3	1	6	
	11	3	26	
33 pontos	21	0	-	15
	8	1	1	
	11	1	6	
	19	2	5	
57 pontos	17	0	-	27
	26	0	-	
	31	1	1	
	30	1	5	
	33	3	4	

A partir da tabela, podemos concluir que no conjunto dos **6 pontos**, não houve qualquer tipo de ocorrência, deste modo não é possível quantificar a influência das ocorrências. O fato de não haver ocorrências nesta amostra, deve-se à baixa duração desta calibração, sendo em média 1 minuto.

No caso das amostras de 31, 33 e 57 pontos, chegámos à conclusão, que quanto maior o número de ocorrências, maior a duração da calibração. Apesar de que o expectável, é ter valores de calibração semelhantes. Este aumento do tempo, deve-se ao tempo de reiniciação do processo de calibração, sempre que temos uma ocorrência. Logicamente, quanto mais ocorrências tivermos, mais tempos de reiniciação vamos ter, e conseqüentemente maior será o tempo de calibração.

Na Figura 45, podemos observar um exemplo de uma calibração observada, onde são indicadas as ocorrências que surgiram e a influência que elas tiveram no tempo total da calibração. No eixo horizontal, temos o tempo da calibração mais o tempo das ocorrências, em que neste caso surgiram três, que estão devidamente identificadas. No eixo vertical, temos o tempo da calibração, mas agora sem o tempo das ocorrências, ou seja, o tempo efetivo de calibração.

Podemos concluir através do gráfico que as ocorrências I, B e M, aumentaram o tempo de calibração de 26 minutos para 38 minutos, tendo causado um aumento de 12 minutos, na duração da calibração, representando 30% do tempo total.

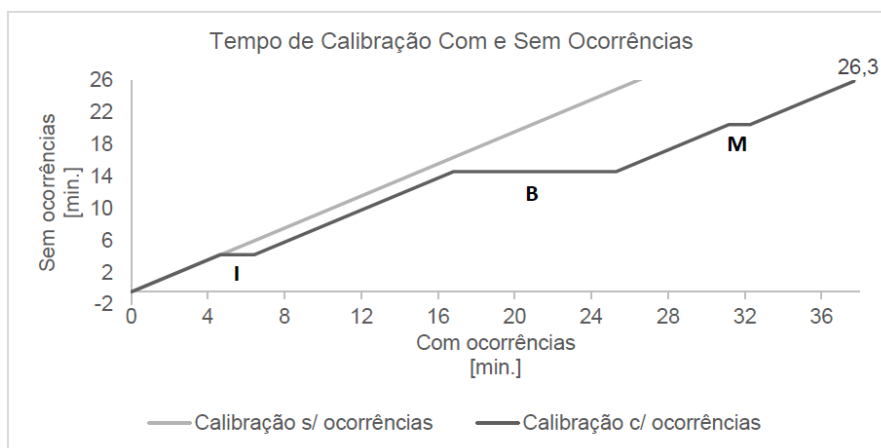


Figura 45 - Calibração da observação cuja identificação é CELE2291/18

8. Relação entre as ocorrências, e os diagramas spaghetti.

Após a análise das ocorrências apresentadas na tabela 10, chegámos à conclusão que podem ser justificadas através dos diagramas *spaghetti* apresentados na fase *Measure*, Figura 18 e Figura 19. Através da fácil visualização que os diagramas *spaghetti* nos proporcionam, podemos ver que quando temos a ocorrência A, em que o técnico tem de se levantar para ir procurar um fusível ou uma ferramenta à reparação, percorre um longo caminho, é claro que se conseguirmos eliminar este movimento, conseguimos reduzir o tempo desta ocorrência.

9. Relação entre os pontos e o tempo de calibração.

Relacionando estas duas variáveis, é analisada a influência do número de pontos, no tempo de calibração. Através da amostra recolhida, é possível verificar se existe uma relação entre tempo de calibração com o número de pontos, através de uma regressão linear. Embora a regressão linear não nos garanta uma relação de causalidade, esta poderá ser usada para tentar estimar, o tempo de calibração, face ao número de pontos medidos.

Inicialmente, elaboramos um gráfico de dispersão das variáveis, para percebermos se se comportavam de uma forma linear, como podemos observar na Figura 46.

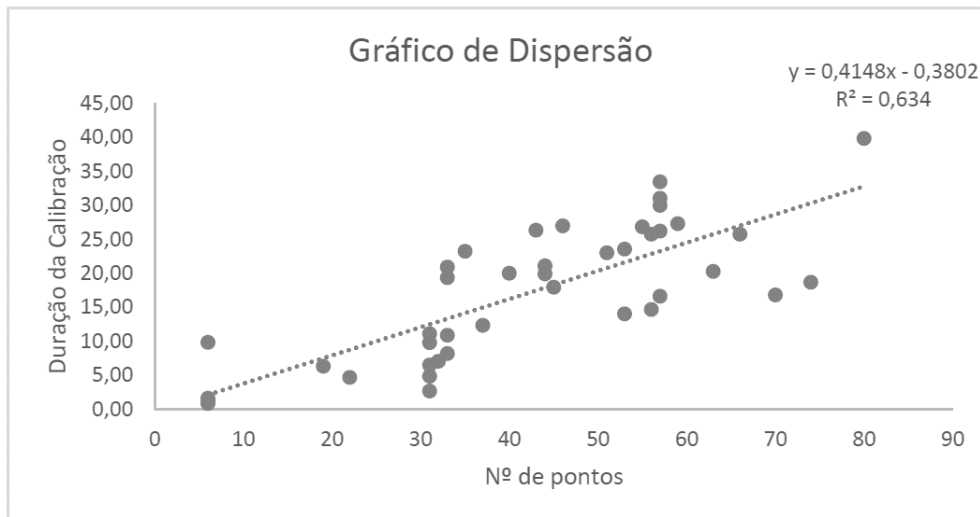


Figura 46 - Gráfico de Dispersão e resultados da Regressão Linear

A medida de ajustamento, R^2 , apresenta um valor de 63,4%. Sendo assim, podemos considerar que através da equação obtida, poder-se-á estimar o tempo de calibração, face ao número de pontos, a calibrar neste tipo de equipamentos, através da substituição da variável x, pelo número de pontos que vão ser medidos.

Com esta reta, não é prudente fazer extrapolações sobre o que poderá acontecer com o aumento do número de pontos, apesar de sugerir que com o aumento do número de pontos, o tempo de calibração também aumenta. Esta equação foi obtida com dados que excluem ocorrências, ou seja, o tempo total de calibração sem o tempo das ocorrências que aconteceram ao longo das observações, ver Tabela 10, página 54.

3.2.3.3 Recolha de dados através dos técnicos

Esta recolha foi feita entre o dia 3 de abril e 6 de maio de 2018. Durante este período, foi possível obter 82 observações. Mas, para termos a certeza se todos os multímetros calibrados foram devidamente registados, obteve-se a quantidade de multímetros calibrados entre o período da recolha de dados, a partir do ficheiro de Excel de apoio à equipa Lean, que nos indicou que foram calibrados 109 multímetros. Foi então calculado um erro de 24,8%.

O objetivo desta recolha de dados é responder às seguintes questões:

1. **Quais são os postos mais utilizados para calibração dos multímetros?**
2. **Que tipos de multímetros chegam mais ao laboratório?**
3. **Qual foi a tendência durante o tempo da recolha de observações?**
4. **Há mais calibrações da parte da manhã ou de tarde?**

Através de um ficheiro excel, onde foram colocados todos os dados preenchidos pelos técnicos do laboratório, foi possível agrupar e organizar os dados de forma a responder às questões apresentadas.

1. **Quais são os postos mais utilizados para calibração dos multímetros?**

Segundo as 82 calibrações de multímetros, a percentagem de utilização dos três postos é semelhante nos dois primeiros, e quase nula no terceiro. Como podemos ver na Tabela 12.

Tabela 12 – Percentagem de utilização dos postos para calibração de multímetros

Posto 1	51%
Posto 2	48%
Posto 3	1%

2. Que tipos de multímetros chegam mais ao laboratório?

Segundo as 82 calibrações de multímetros observadas, a percentagem de chegada dos vários tipos de multímetros é bastante baixa para os de 3 dígitos e 6 dígitos, sendo a maioria de 4 e 5 dígitos. Tal como já tinha sido verificado na recolha presencial, presente na Tabela 9. Como podemos ver, através da Tabela 13, os valores não variam muito, mesmo com a diferença do tamanho da amostra.

A chegada dos diferentes tipos de multímetros, está relacionada com a utilização dos postos. Por exemplo, no caso dos multímetros de 6 dígitos que são mais sofisticados, só podem ser calibrados no posto 3, onde se situa o calibrador adequado, mas como não chegam muitos multímetros de 6 dígitos o posto 3 é utilizado esporadicamente.

Tabela 13 – Percentagem de chegada dos quatro tipos de multímetros

3 Dígitos	2%
4 Dígitos	66%
5 Dígitos	29%
6 Dígitos	2%

3. Qual foi a tendência durante o tempo da recolha de observações?

Durante a recolha da amostra, houve um decréscimo do número de observações por semana. Este comportamento pode estar influenciado pelo erro indicado inicialmente, de 24,8%. Este erro pode ter ocorrido, porque a meio desta recolha, foi quando a recolha dos tempos de calibração foi finalizada, e por isso, houve um lapso de informação, que fez com que os técnicos percebessem que já não era necessário preencher o documento fornecido.

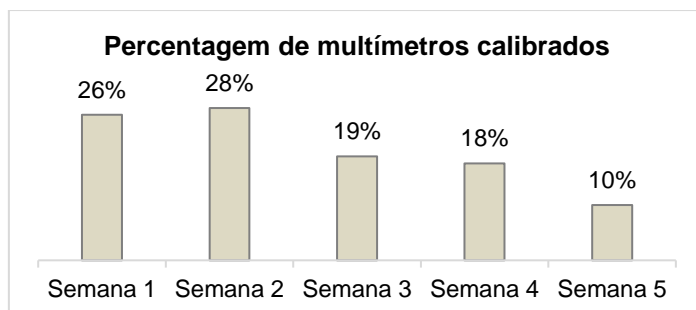


Figura 47 - Percentagem de multímetros calibrados nas semanas que houve recolha de dados

4. Há mais calibrações da parte da manhã ou de tarde?

Foram definidas como calibrações da parte da manhã, as que foram feitas antes das 12h, e calibrações

da parte da tarde todas as que foram feitas após as 12h. Notou-se que a percentagem das calibrações efetuadas da parte da manhã, era significativamente menor do que a percentagem da parte da tarde. Para verificar se realmente se efetuavam mais calibrações da parte da tarde, fomos calcular o tempo útil disponível nestes dois horários, tendo em conta dois intervalos de 0,5h, um de manhã e outro de tarde, e 1h de almoço, das 12h às 13h. Assumindo que os técnicos trabalham das 9h às 18h.

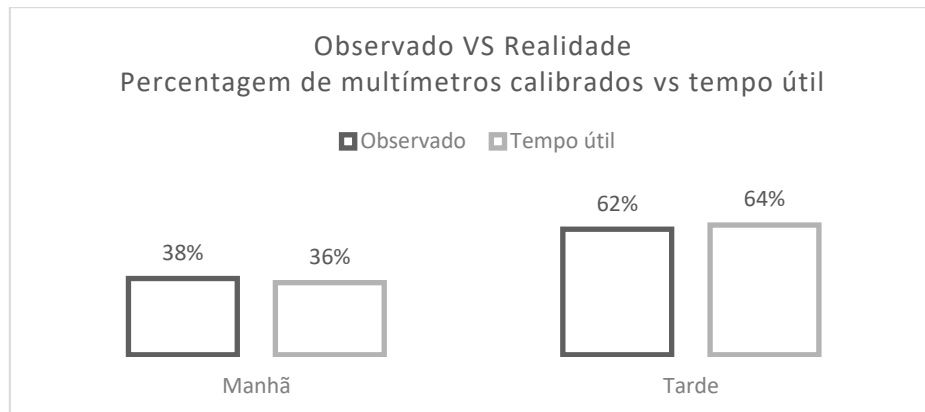


Figura 48 - Percentagem de multímetros calibrados da parte da manhã e da tarde

Podemos observar através da Figura 48, que existe uma relação entre o tempo útil disponível e o número de calibrações efetuadas. Assim, podemos concluir, que não existe uma diferença significativa entre o número de calibrações efetuadas de manhã e de tarde. Havendo apenas uma diferença de 2% entre o tempo útil e o número de calibrações, negativa de manhã e positiva de tarde. Mas que existe uma diferença considerável entre o número de horas úteis disponíveis da parte da manhã (36%) com a parte da tarde (64%).

3.2.4 *Improve*

3.2.4.1 **Proposta de Melhoria**

Tendo como base os valores obtidos através das observações efetuadas na fase *Measure* e *Analyse*, onde foram encontradas as principais causas que levam a um aumento significativo dos tempos de calibração de multímetros, foi proposto a 20 de junho de 2018, uma mudança no atual *layout* do laboratório, essencialmente nos dois primeiros postos, porque como observamos na Tabela 12, a percentagem de utilização dos três postos é semelhante no posto 1 (51%) e posto 2 (48%), enquanto o posto 3 foi utilizado apenas 1% das vezes. Na Figura 49 é apresentado o *layout* atual dos 3 postos.

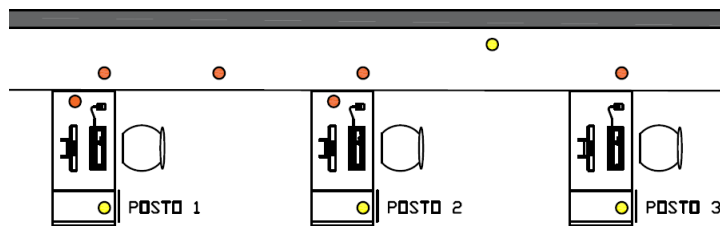


Figura 49 – Planta atual dos postos 1, 2 e 3.

Na fase *Analyse*, podemos ver na tabela 10, quais foram as ocorrências que não deixam o processo de calibração fluir, aumentando o tempo de calibração em cerca de 30%. Aquelas que foram consideradas mais críticas foram, a **ocorrência A**, que representa a troca de fusíveis/pilhas, que tem uma média de 7 minutos. A **ocorrência B**, que representa o mesmo que 'A', mas com a diferença de que os técnicos já têm a ferramenta à mão, e diminui o tempo em quase metade do tempo de 'A', 3,5 minutos. A **ocorrência I**, representa o esclarecimento de dúvida, e a **ocorrência F**, representa erros e ajustes na programação. Na Figura 50, é apresentado a proposta do novo layout proposto, que tem como objetivo diminuir os tempos das ocorrências, a partir da centralização dos acessórios.

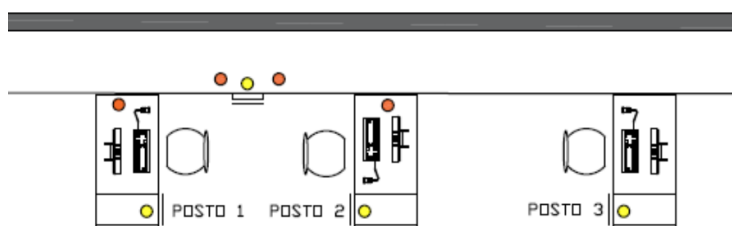


Figura 50 – Proposta da nova planta

No novo layout, temos os principais postos, virados de costas para promover a partilha do mesmo espaço, da mesma gaveta, e do mesmo material. Na gaveta existente entre os postos, são colocados todos os acessórios indispensáveis para a calibração dos multímetros.

Com esta proposta esperam-se as seguintes vantagens:

1 – Na gaveta existente entre os dois postos, são colocados todos os acessórios para a calibração dos multímetros, apresentados na Figura 51, deste modo a promover, a partilha de material, para que se encontre sempre disponíveis e à mão. Existe sempre, o risco de não haver os acessórios necessários para efetuar a calibração, mas existindo dois conjuntos de acessórios, estamos a promover a partilha do risco, reduzindo-o em ambos os postos. **Acessórios:** 8 cabos banana (4 para cada posto), 2 cabos de temperatura (1 para cada posto), fusíveis variados e 2 chaves de fendas para abrir o multímetro. Disponibilizando os acessórios, e colocando-os próximos do técnico, vamos reduzir o tempo das ocorrências A e B;

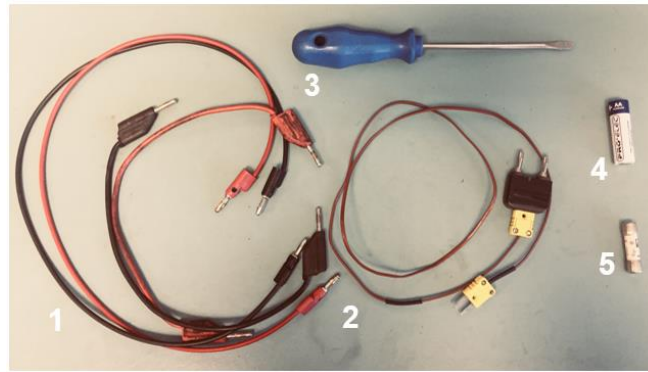


Figura 51 – Acessórios: 1. Cabos Banana; 2. Cabo de Temperatura; 3. Chave de Fendas; 4. Pilha substituta; 5. Exemplo de um fusível substituto

2 – Relativamente à disposição dos postos, além de ajudar na partilha e centralização do material necessário, também ajuda na redução do tempo das **ocorrências I e F**. Em que para qualquer esclarecimento de dúvidas, o técnico só tem de se virar, em vez de se levantar. Estas duas ocorrências, estão por vezes interligadas, porque geralmente as dúvidas provêm dos erros na programação.

3 – Este layout também ajuda a definir o lugar onde deve ser feita a calibração dos medidores de terra e Megaohmímetros, que são outros equipamentos que esta dissertação tinha como objetivo melhorar o seu processo. Atualmente esses equipamentos são calibrados nos postos 1, 2 e 4. Havendo sempre uma deslocação das décadas, que são equipamentos utilizados na calibração. Desta forma, os acessórios utilizados para a calibração destes instrumentos, podem passar a estar numa estante que ficasse por cima dos equipamentos utilizados para calibrar cronómetros que se encontram por cima da gaveta central, definindo os postos 1 e 2, o lugar onde estes equipamentos são calibrados;

4 – No caso das pinças, que são outros equipamentos escolhidos para melhorar o processo, começam a ser calibradas no posto 1, mas existem alguns pontos que têm de ser medidos no posto 2. Com este layout, o técnico no posto 1, pode ver se o colega do posto 2 está a calibrar, sem o incomodar, e caso não esteja, utilizar o posto para tirar os pontos.

Existem desvantagens, e algumas delas foram apontadas pelos técnicos de laboratório:

1 – Ao virar o posto 2 ao contrário, caso não seja possível colocar os calibradores do lado direito, o técnico tem de trabalhar com a mão esquerda;

2 – Este novo layout pode levar à colisão entre os técnicos do posto 1 e 2.

3 – Nos postos 2 e 3, os técnicos ficam de costas viradas para a porta do laboratório.

Com esta proposta é possível diminuir o movimento do técnico, definir a localização dos vários equipamentos utilizados, centralizar os acessórios indispensáveis para a calibração dos multímetros, de forma a melhorar a eficiência do processo.

Com a implementação desta solução, através do teste piloto, vamos poder perceber quais foram os benefícios que o novo layout trouxe para a eficiência do processo.

3.2.4.2 Implementação da proposta

A implementação do novo layout, teve lugar no dia 22 de junho de 2018, sexta-feira ao final do dia, fora do horário laboral. Durante a implementação do novo layout, foi possível eliminar algumas desvantagens mencionadas. Como podemos ver na Figura 52, na imagem à direita, foi possível colocar os equipamentos utilizados para calibração, do lado direito do técnico, e assim a desvantagem número um, é eliminada. Em relação à desvantagem número dois, foi estabelecida uma distância de segurança, para evitar a colisão entre técnicos.



Figura 52 – Antes e depois do novo layout ter sido implementado

Através da Metodologia 5S, que tem como base permitir uma boa gestão visual e melhoria contínua, foram então colocados todos os acessórios frequentemente utilizados, perto do técnico. A organização dos acessórios e equipamentos utilizados é apresentado na Figura 53 e Figura 58.

Na gaveta central, onde o material é partilhado, temos uma divisão do material do posto 1 e 2. Temos assim, o material necessário, em duplicado, que irá reduzir o risco do material não se encontrar no local correto, não atrapalhando a calibração.



Figura 53 – Gaveta central

Na Figura 53, é apresentada a gaveta central, com todos os acessórios necessários para a calibração dos multímetros, onde se encontra uma caixa com todos os diferentes tipos de fusíveis. A gaveta está dividida em duas partes, do lado esquerdo encontramos os acessórios do posto 1 e do direito os do posto 2. No caso das caixas dos fusíveis, são partilhadas.

3.2.4.3 Teste-Piloto

No teste piloto, tem como objetivo evidenciar o impacto do novo layout, na eficiência do processo de calibração dos multímetros. São, por isso, recolhidas novas observações do processo, para uma posterior análise, que é feita nos pontos seguintes.

3.2.4.3.1 Diagrama *Spaghetti*

Refazendo os diagramas *Spaghetti*, podemos ver que existe uma grande diferença no movimento do técnico, observado na Figura 18 e Figura 19 (página 37), só pelo facto de agora termos os acessórios necessários na gaveta do meio e assim, desta forma, o movimento que existia com frequência entre os dois primeiros postos e a área do serviço de assistência técnica quase deixou de existir. Quando o processo foi observado novamente, houve apenas uma ocorrência deste género, onde o técnico se dirigiu ao serviço de assistência técnica para ir buscar uma pinça multi-métrica, para perceber se o multímetro que estava a ser calibrado, estava a funcionar corretamente.



Figura 54 – Diagrama *Spaghetti* dos Posto 1, após melhoria



Figura 55 – Diagrama *Spaghetti* do Posto 2, após melhoria

Podemos concluir que com a melhoria implementada, conseguimos eliminar um dos maiores percursos percorrido pelos técnicos durante a calibração, que por vezes aconteciam mais que uma vez por calibração. Teve por isso impacto no tempo despendido para procurar os materiais necessários para continuar com a calibração. Desta forma, o técnico que se encontra na área de serviço de assistência técnica, também não é interrompido durante os trabalhos minuciosos que executa.

3.2.4.3.2 BoxPlot

Com estes gráficos, conseguimos perceber se na nova amostra contém alguns *outliers* que devam ser eliminados.

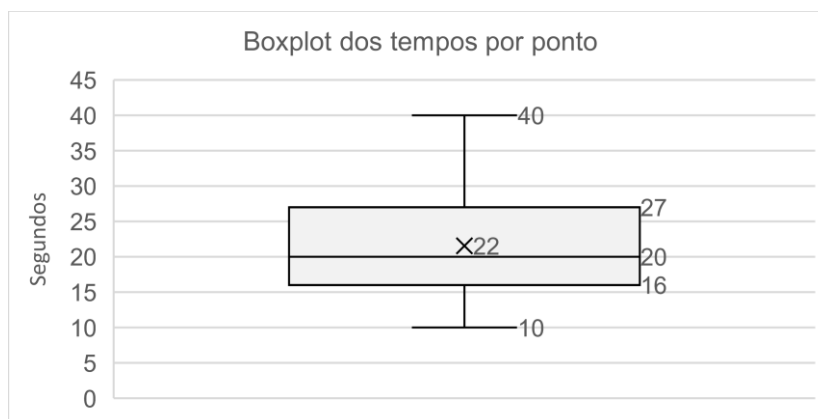


Figura 56 – Bloxplot da amostra recolhida na fase *Improve*

Através desta análise, concluímos que não existem *outliers* na amostra recolhida e por isso podemos analisar a amostra sem ter de eliminar valores que possam influenciar os valores finais.

3.2.4.3.3 Teste de normalidade

Para calcularmos o novo nível sigma do processo, tivemos de testar a normalidade da nova amostra, após a implementação. Obtivemos os resultados apresentados na figura seguinte, através do teste de *Anderson-Darling*.

```
> ad.test(segundaobs)
Anderson-Darling normality test
data: segundaobs
A = 0.57739, p-value = 0.1254
```

Figura 57 – Resultados do teste de normalidade

Através do teste, obtivemos um valor de p-value, maior que 0.05 e por isso, é rejeitada a hipótese, da nossa amostra não seguir uma distribuição normal. Deste modo, é possível calcular o nível sigma deste processo e comparar com o nível sigma calculado anteriormente na fase *Measure*.

3.2.4.3.4 DPMO e Nível Sigma

Como vimos no teste de normalidade, podemos calcular o nível sigma desta nova amostra, através do resultado DPMO. Este nível sigma teve um objetivo mais baixo do que o calculado anteriormente, porque na fase *Measure*, quando foi feita a recolha de dados, tínhamos estagiários a calibrar, e nesta fase *Improve*, como já não haviam estagiários no laboratório, as calibrações foram feitas por técnicos.

Desta forma, tendo esta diferença em conta, o objetivo de 30 segundos por ponto, diminui 20%, criando o novo objetivo de 24 segundos por ponto. Na tabela que se segue, são apresentados os resultados do nível sigma e do DPMO, antes e depois.

Tabela 14 – Nível Sigma e DPMO do processo, após proposta

	Antes	Depois	Diferença
Percentagem de defeitos	41%	33%	8%
Nível Sigma	0,2	0,5	0,222

Com a proposta, conseguimos diminuir o número de defeitos por milhão em 8% e aumentar o nível sigma em $0,222\sigma$.

3.2.4.4 Conclusões

Com as melhorias implementadas ao longo deste projeto LSS, conseguimos reduzir e eliminar desperdícios presentes no processo estudado, dos quais: o movimento do técnico e consequentemente a redução de defeitos, porque sempre que o processo de calibração era interrompido porque o técnico

tinha de ir procurar uma ferramenta (por exemplo) o tempo de calibração aumentava, essencialmente na fase de reiniciação da calibração.

Tabela 15 – Capacidade de calibração antes e depois

Antes		Depois	
Nº total de minutos em 2017	72000	Nº total de minutos de 2017	72000
Horário laboral [minutos]	288	Horário laboral [minutos]	288
$\frac{\text{tempo disponível por ano}}{\text{tempo de calibração}}$	3282,7	$\frac{\text{tempo disponível por ano}}{\text{tempo de calibração}}$	3570,2
$\frac{\text{tempo diário}}{\text{tempo de calibração}}$	13,1	$\frac{\text{tempo diário}}{\text{tempo de calibração}}$	14,3
Calibrações/ano - 3282 Calibrações/dia - 13		Calibrações/ano - 3570 Calibrações/dia - 14	

Na Tabela 15, temos o antes e depois do projeto LSS, onde foi utilizado o ano 2017 como referência, que teve 288 minutos laborais, já sem contar com as horas de almoço e intervalos da manhã e tarde, foi ainda tirado a esse valor 20%, que funciona como margem de tempo útil, não utilizado. Através das amostras pré LSS e a após LSS, foi calculado do tempo médio das calibrações, e com o tempo laboral disponível e o tempo médio da calibração de multímetros, foi possível calcular a quantidade de multímetros que era possível calibrar antes e agora.

Através dos valores calculados, foi calculada a diferença, para que se torne visível o impacto do projeto neste processo, presente na Tabela 16, onde pudemos ver que agora é possível calibrar mais um multímetro por dia, e mais 287 por ano. Sabendo que o valor da calibração dos multímetros é de cento e vinte euros, podemos chegar à conclusão, que anualmente é possível faturar mais trinta e quatro mil e quatrocentos e quarenta euros por ano.

Tabela 16 – Diferença entre o estado inicial e o estado atual

Diferença	
Por dia	1,2
Por ano	287,6
Calibrações/ano - mais 287 Calibrações/dia - mais 1	

3.2.5 Control

Nesta fase foi utilizada a ferramenta 5S, que ajuda a controlar o processo melhorado, através da organização e gestão dos materiais. Com a intenção de não deixar com que os efeitos do projeto LSS não voltem a recuar ao estado inicial.

Como os equipamentos são levados para trabalhos exteriores, e saem do local onde costumam estar, é foram colocadas 'sombras', na mesa de trabalho, que definem o local dos vários equipamentos

utilizados nestes postos, identificando o lugar de cada equipamento, como podemos ver na Figura 58.



Figura 58 – Sombras, à esquerda é apresentado o posto 1 e à direita o posto 2

Na gaveta central, apresentado anteriormente na Figura 53, para que o material da gaveta volte sempre para o local onde pertence, os acessórios estão devidamente identificados com o local onde deve ser guardado, e se pertencem ao posto 1 ou ao posto 2.

3.3 Conclusões

Neste capítulo descreveu-se a implementação da metodologia Lean Six Sigma no laboratório elétrico e de Radio Frequência do ISQ, ao longo das 5 fases DMAIC. Este projeto LSS teve como objetivo principal a diminuição do tempo de calibração de um conjunto de equipamentos que eram calibrados nos postos 1, 2 e 3.

Mas apercebemo-nos logo no início do projeto que para um projeto de apenas 5 meses, dificilmente conseguiríamos estudar o processo de todos os equipamentos escolhidos. Por isso, ficou decidido estudar o equipamento que chega com mais frequência ao laboratório, o multímetro, e caso fosse possível em termos de tempo, alargar para o estudo do processo dos outros equipamentos. Esta foi uma decisão crucial para a elaboração desta tese no tempo disponível, não tendo sido possível estudar mais equipamentos além dos multímetros. Sendo que a aplicação desta metodologia no processo de calibração dos multímetros foi feita de maneira metódica, para que possa ser seguida e implementada nos outros equipamentos.

Como vimos no teste-piloto, este processo chegou ao final com sucesso, conseguido diminuir o tempo médio das calibrações e aumentar o lucro do laboratório diariamente (+1 calibração) e anualmente (+287 calibrações).

Capítulo 4

Conclusões

Este capítulo finaliza esta Dissertação, sumariza o trabalho desenvolvido, a análise, conclusões e linhas de desenvolvimento a seguir num futuro oportuno.

Esta Dissertação de Mestrado teve como objetivo principal aplicar a metodologia *Lean Six Sigma* na melhoria do processo de calibração de multímetros. Esta metodologia é por sua vez uma combinação de duas metodologias que juntas criam uma sinergia:

- Lean, que visa eliminar desperdícios e reduzir defeitos evitáveis em processos;
- Six Sigma, que visa reduzir a variabilidade existente em processos standardizados e comprovar a eficácia da metodologia Lean, através da monitorização dos processos em fase de melhoria.

O *Lean Six Sigma* pode seguir várias estratégias, neste estudo seguimos a metodologia de melhoria do processo – DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) por este ser um processo que já existe e é standardizado.

Ao longo desta Dissertação foram definidos vários planos, que fizeram com que este trabalho conseguisse ser finalizado com sucesso. O fato deste trabalho ter sido implementado numa empresa trazia vários riscos, por exemplo:

- Falta de comprometimento da parte da empresa
- Insucesso do projeto *Lean Six Sigma*
- O projeto demorar mais tempo do que o previsto
- Haverem objetivos definidos inicialmente, demasiado otimistas
- Falta de tempo da parte dos principais intervenientes da equipa, causando atraso no projeto *Lean Six Sigma*

Mas foi com muito gosto, que este projeto teve sucesso, tendo ultrapassado todos os riscos que podiam comprometer este trabalho e ainda trouxe benefícios tanto para esta Dissertação como para o Laboratório Elétrico e de Radiofrequência que se disponibilizou para receber o projeto *Lean Six Sigma*.

Em síntese, o desenvolvimento do trabalho:

- Começamos por observar e analisar o sistema de calibração, o seu funcionamento geral, que inclui o tipo, volume e distribuição do trabalho (anualmente, trimestralmente e mensalmente), que nos permitiu identificar um tipo de trabalho que representa a maior solicitação ao sistema (a calibração de multímetros);
- Analisamos em maior detalhe o funcionamento do processo associado a esta calibração: procedimentos atuais, *layout*, intervenção das pessoas e pudemos observar a complexidade quer do sistema, quer do processo.
- Detetou-se limitações e insuficiências que permitiu propor novos procedimentos e alterações de *layout*, apesar de se ter observado calibrações efetuadas por estagiários, foi sugerido a disponibilização de mais recursos (equipamento) que evitariam estrangulamentos.
- Foi verificada a necessidade de obter um maior numero de observações (no futuro), para

melhor caracterizar o comportamento do processo e ainda melhorá-lo mais, promovendo a melhoria contínua.

- Descreve-se a seguir, e em síntese, as várias ações desenvolvidas em cada uma das etapas da metodologia DMAIC.

Este projeto *Lean Six Sigma* teve como base a metodologia DMAIC. Na fase *Define* foram definidos os objetivos do projeto e o calendário. Esta gestão do tempo foi um ponto relevante que na altura do *Measure* nos ajudou a decidir se medíamos todos os equipamentos escolhidos ou medíamos um a um, passando para a fase *Analyse* assim que o primeiro tivesse medido. E assim foi, escolheu-se o equipamento que mais aparecia no laboratório, o multímetro. Apesar de tudo, no final da fase *Measure* apercebemo-nos que não iria ser mesmo possível medir mais equipamentos, devido à quantidade de tempo que tinha de ser disponibilizado para fazer observações.

Durante o projeto LSS, foram utilizadas diferentes ferramentas e metodologias em que cada uma delas nos ajudou à sua maneira a entender melhor quais os estrangulamentos existentes no processo de calibração de multímetros:

- *Define*
 - ✓ *Project Charter*, que nos ajudou a definir o projeto em termos de objetivos, calendário, equipa de melhoria e criação barreiras.
 - ✓ SIPOC (*Supplier, Inputs, Process, Outputs, Customers*), que nos ajudou a mapear o processo de uma maneira macro, que respondem a perguntas como: Quem? Como? O quê? Onde?
 - ✓ DCA, diagrama do ciclo das atividades, que nos ajudou a perceber que atividades existem e quais os recursos necessários para que cada uma delas aconteça.
- *Measure*
 - ✓ Gestão visual, mesmo havendo dados acerca do laboratório, é no terreno que conseguimos detetar alguns desperdícios visíveis a olho nu.
 - ✓ Observações no terreno, foram recolhidos tempos de calibrações de multímetros, seguindo o modelo criado na Figura 14, página 34.
 - ✓ Criar gráficos de tendências ao longo dos últimos anos, com estes gráfico conseguimos chegar à conclusão que o tempo definido para este projeto foi na altura ideal, porque é entre os meses de março e julho, que chega a maior quantidade de multímetros.
 - ✓ Diagrama *Spaghetti*, que nos ajudou a perceber quais os movimentos do técnico, onde um dos movimentos era comum e foi considerado desperdício, tendo sido eliminado, este movimento servia apenas para ir procurar algumas ferramentas e acessórios, que se encontravam a uma distância considerável, criando interrupções na calibração que consequentemente aumentava o tempo.
 - ✓ Diagrama de Causa-Efeito, onde foram definidas as principais causas que aumentam 29% do tempo de calibração, em 57% das calibrações efetuadas.

- ✓ DPMO e Nível Sigma, tendo estes valores como nível do processo antes da aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*, novamente calculados na fase *Improve*.
- *Analyse*
 - ✓ *BoxPlot*, que nos ajudaram a perceber se haviam observações consideradas *outliers*.
 - ✓ Cartas de controlo, que através da monitorização do processo, nos ajuda a perceber se o processo está sobre controlo ou não, em relação à média e em relação à variação.
 - ✓ Ajustamento da amostra a uma distribuição teórica.
 - ✓ Análise aprofundada das observações recolhidas na fase *Measure*.
- *Improve*
 - ✓ 5S, através da organização dos materiais necessários para a calibração dos multímetros.
 - ✓ Teste-piloto, onde após as mudanças proposto terem sido implementadas, o processo é observado e medido outra vez, de modo a ser possível calcular o impacto do projeto LSS.
 - ✓ Diagrama *Spaghetti*, que nos ajuda a perceber quais as melhorias que o projeto trouxe em relação ao desperdício do movimento excessivo do técnico de laboratório.
 - ✓ *BoxPlot*, para percebermos se a nova amostra, após a implementação do projeto, tem *outliers*.
 - ✓ Teste de normalidade, para sabermos se era possível calcular o nível sigma.
 - ✓ DPMO e Nível Sigma, tendo estes valores como nível do processo antes da aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*, sendo novamente calculados nesta fase para comparar o nível.
- *Control*
 - ✓ 5S, onde foram utilizadas as sombras, que são as linhas que delimitam o local dos equipamentos, de forma a que estes quando saem, voltem para o local correto. Com isto, reduzimos a probabilidade do processo voltar a estar como antes.

Através deste projeto *Lean Six Sigma*, foi possível melhorar o processo e reduzir o tempo utilizado para medir cada ponto, como podemos observar nos gráficos apresentados na Figura 59, com os valores do processo antes e depois do projeto.

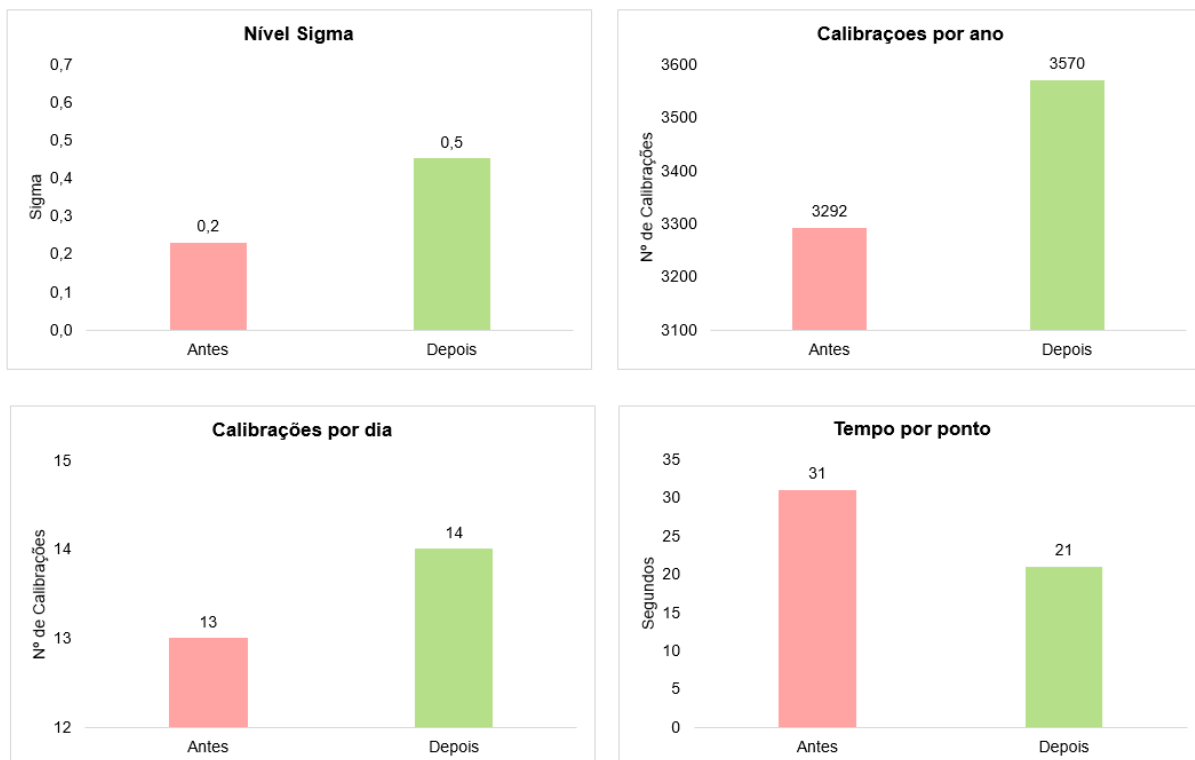


Figura 59 – Gráficos das diferenças entre o estado do sistema antes e depois do projeto LSS

Na figura anterior, podemos concluir que o nível sigma aumentou em 0,3 sigma, houve um aumento do número de calibrações anuais em mais 287 calibrações e por dia libertou tempo suficiente para fazer mais uma calibração. Relativamente ao tempo por ponto, que era o principal objetivo deste projeto, baixou 10 segundos, que representa 26% do tempo de calibração, que ultrapassou o objetivo inicial de 25%.

Apesar de não ter havido tempo suficiente para estudar os outros equipamentos escolhidos para este projeto, não quer dizer que não possa vir a ser feito, e por isso, podem ser criados futuros projetos *Lean Six Sigma*, seguindo a mesma metodologia que se mostrou adequada no geral e as mesmas ferramentas e outras de acordo com a especificidade do problema a outras áreas ou tipo de calibrações.

Anexo A

Processos e Estrutura do ISQ

Neste anexo é apresentada a estrutura dos laboratórios, onde se encontra o Laboratório Elétrico e de Radiofrequência. E os possíveis processos que podem acontecer dentro do laboratório em estudo.

A.1 LABMETRO

É dentro do LABMETRO, que se encontram os laboratórios de metrologia, que garantem que os equipamentos dos clientes, que medem fenómenos físicos, o fazem corretamente. Comparando o seu desempenho com os padrões existentes, do laboratório competente.

A.1.1 Estrutura do LABMETRO

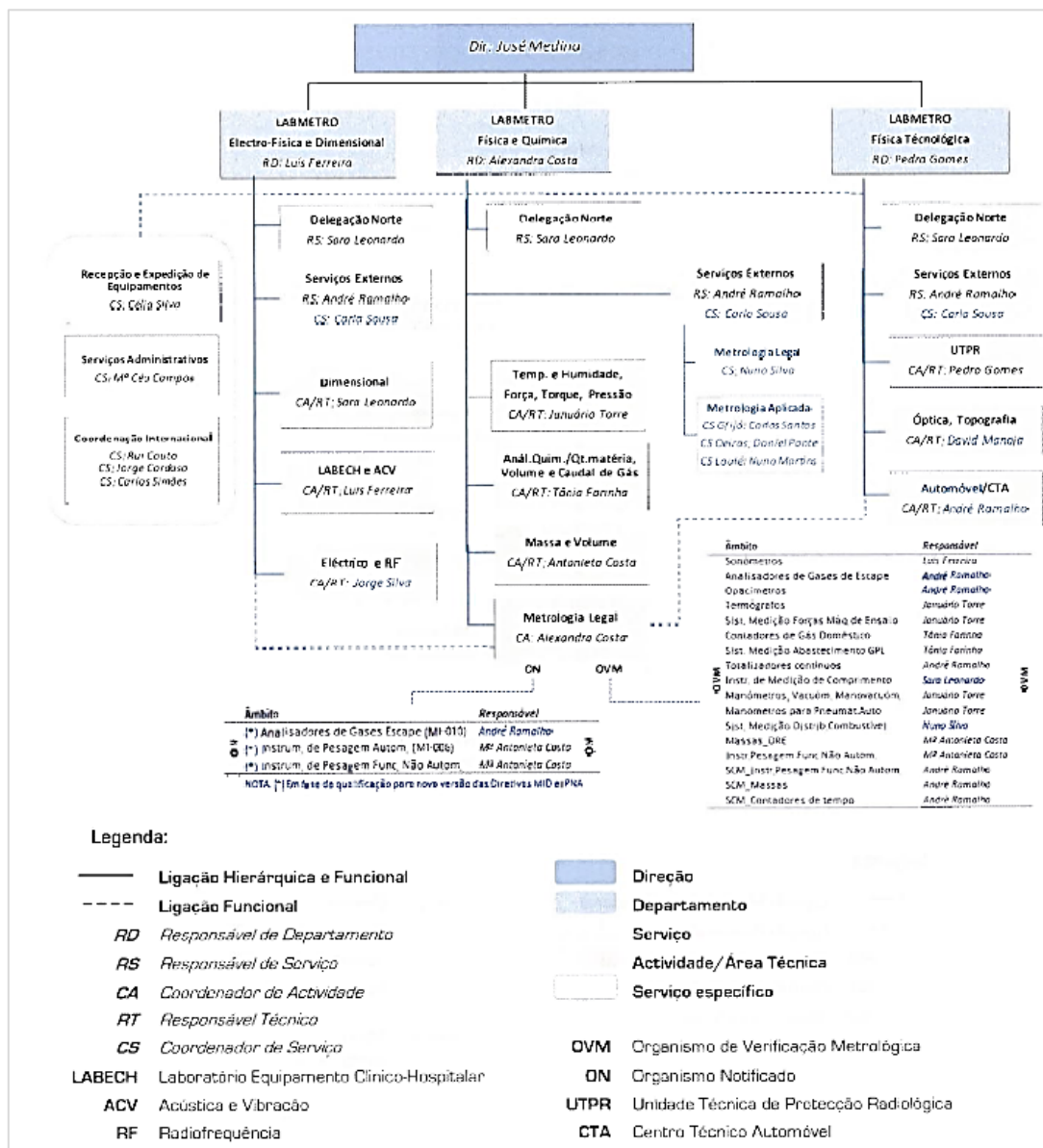
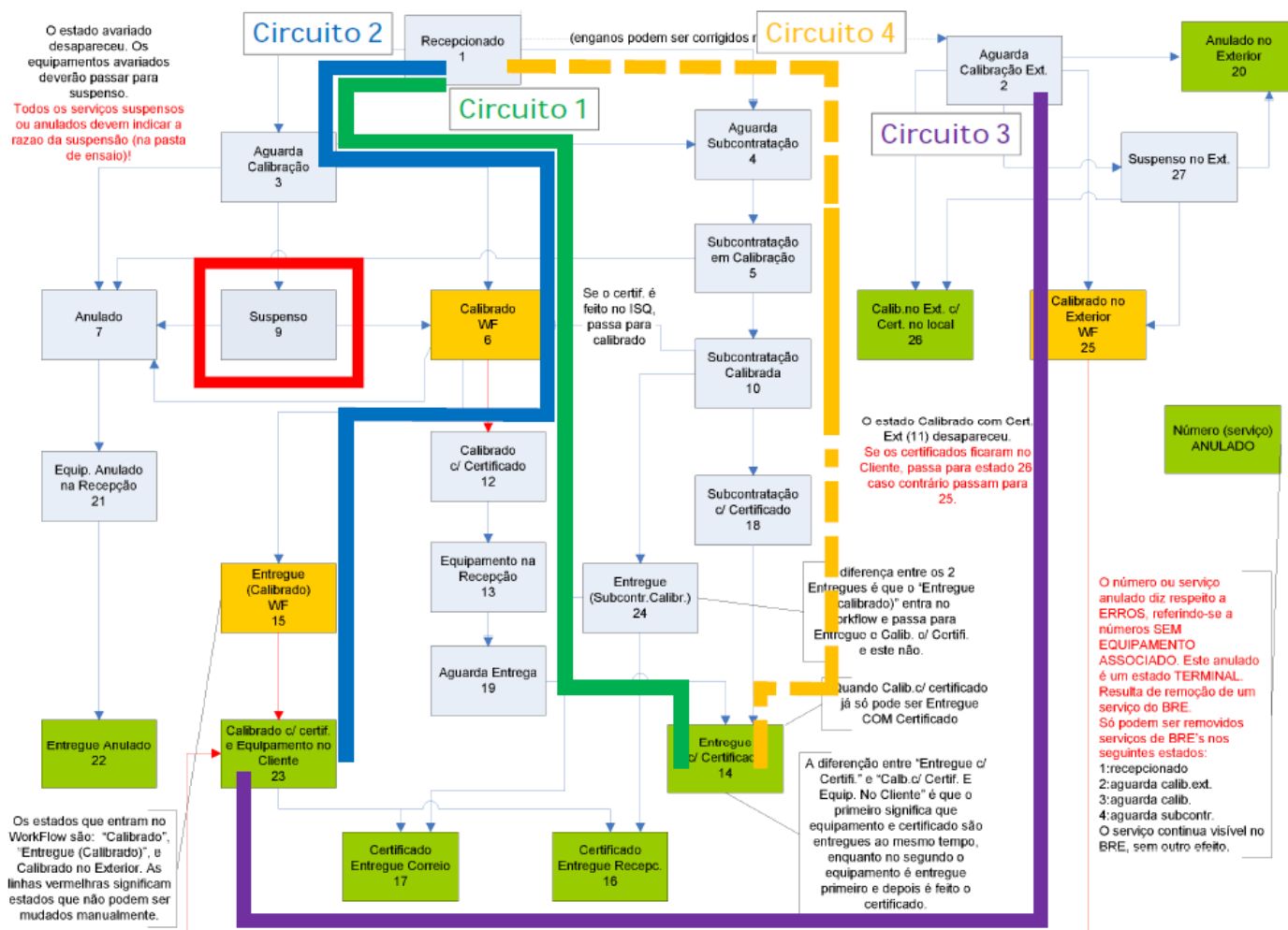


Figura A.1 – Estrutura do LABMETRO, ISQ (2015)

Na Figura A.1.1, vemos que o LABMETRO, está dividido em três departamentos, e o Laboratório Eléctrico e de Radiofrequência, pertence ao departamento de Electro-Física e Dimensional

A.1.2 Processos no Laboratório Elétrico e de Radiofrequência



Dentro do Laboratório Elétrico e de Radiofrequência existem vários caminhos que o equipamento do cliente pode percorrer, caracterizados na Figura A.2.

Essencialmente, os equipamentos podem percorrer 4 circuitos:

- Circuito 1 – O equipamento entra no laboratório, é calibrado, e chega ao cliente calibrado e com certificado;
- Circuito 2 – O equipamento entra no laboratório, é calibrado, mas chega ao cliente calibrado sem o certificado emitido;
- Circuito 3 – Quando o equipamento é calibrado no exterior, e é entregue ao cliente com certificado;
- Circuito 4 – Quando o equipamento é calibrado sobre um subcontrato, e entregue ao cliente.

Figura A.2 – Diagrama de Estados e Circuitos (Ferra, 2017)

Anexo B

Projeto *Lean Six Sigma*

Neste anexo são apresentados alguns complementos ao projeto *Lean Six Sigma*, no laboratório Elétrico e de Radiofrequência do ISQ.

B.1 Projeto *Lean Six Sigma*

B.1.1 *Project Charter*

Na primeira fase DMAIC, foi elaborado o *Project Charter*, apresentado nas figuras seguintes.

Nome do Projeto	Código do Projeto	Organização		
Redução do tempo dispendido pelos técnicos que estejam a calibrar os equipamentos calibrados nos três primeiros postos.	-	Instituto de Soldadura e Qualidade, Taguspark, Oeiras		
7. Objetivo Primário do Projeto	5. Caso do Negócio			
Reduzir (direção) o tempo por ponto (medida) na calibração de multimetros (processo) em 25% do tempo em segundos (meta) até 30 de Junho de 2018 (prazo).	O aumento do número de calibrações, através da redução do tempo desperdiçado do movimento do técnico, aumentando assim a rentabilidade do negócio e a eficiência operacional do laboratório.			
3. Importância do Problema	1. O Âmbito do Projeto É			
Tendo em conta a concorrência, que atualmente existe no mercado, é importante a redução dos tempos das calibrações, e deste modo aumentar o tempo livre tornando possível aumentar o número de calibrações diárias. Toda a eficiência que vir da parte técnica, trás valor para o cliente e para a empresa.	Início: Desde o momento é que o técnico faz a primeira medição.			
	Fim: Momento em que o técnico faz a ultima medição.			
	2. O Âmbito do Projeto NÃO É			
	O tempo que esteja fora do âmbito da calibração, como o movimento do técnico às instalações dos clientes, atender o telefone, responder a emails, entre outros.			
4. Clientes-Chave	6. Marcos do Projeto			
Todos os clientes que precisam de calibrar os equipamentos selecionados para melhoria			8. Plano de Comunicação Sumário	
		Início	Fim	Reuniões do projeto:
	Define	10.02	24.02	
	Measure	24.02	23.03	1ª Reunião: 6ª das 9 horas às 10 horas
	Analyse	23.03	18.05	Reunião Extra: 4ª das 9 horas às 10 horas
	Improve	18.05	15.06	
	Control	15.06	30.06	
10. Fundos do Projeto / Investimentos / Custos				
100€ em possíveis equipamentos necessários (cabos, e eventuais acessórios)				
Tempo gasto pelos técnicos:				
- Jorge – 2h/ semana				
- 5 tecnicos – cada 1h / semana = 5 horas				
- Marco – 2h / semana				

Figura B.1 – *Project Charter* (1)

9. Impacto Financeiro Anual Esperado				
Descrição dos ganhos	Antes	Depois	Ganhos	
Calibrações anuais	3282	3570	288	
Calibrações anuais (120 euros/calibração)	393 840,00 €	428 400,00 €	34 560,00 €	
Percentagem de Erros	41%	33%	-8%	
Eficácia do Projeto (Nível Sigma)	0,2	0,5	0,3	
11. Equipa do Projeto	Função	h / semana	12. Riscos do Projeto / Dono do Risco	Anexos
Marco Ferra	Champion	2	1. Indisponibilidade dos membros da equipa para dedicarem 2 horas ao projeto por semana, em horário e conseqüente atraso no prazo planeado (Risco Aceite).	-
Sara Moreira	Líder da equipa	25		
Jorge Silva	Dono do Projeto	2		
Técnicos	Técnicos de Laboratório	5	2. O objetivo ser demasiado otimista	
13. Orientadores da Dissertação de Mestrado		Função	h / semana	
Luís Correia		Orientador	2	
Fernando Cruz		Orientador	2	
Aprovação				
Dono do Processo	Representante Financeiro		Champion	
Jorge Silva	Jorge Silva		Marco Ferra	

Figura B.2 – Project Charter (2)

Este documento apresenta os objetivos, custos, intervenientes e equipa do projeto.

B.1.2 Calendarização do projeto





FEVEREIRO						
S	T	Q	Q	S	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28				

MARÇO						
S	T	Q	Q	S	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

ABRIL						
S	T	Q	Q	S	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

MAIO						
S	T	Q	Q	S	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

JUNHO						
S	T	Q	Q	S	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

LEGENDA	
	Reunião Semanal 9h às 10h
	Champion, Dono do Projeto, Líder de Equipa e Técnicos
	Reunião Extra 9h às 10h
	Início e Fim do Projeto

Quem?

Figura B.3 – Calendário do projeto Lean Six Sigma, no ISQ

Na fase *Define*, foi elaborado o calendário apresentado na Figura B.3, com os 6 meses planejados para a implementação do projeto LSS no Laboratório Elétrico e de Radiofrequência. Este calendário identifica os dias das reuniões de equipa, início e fim do projeto.

B.1.3 Equipamentos calibrados desde 2014

Tabela B.1 – Número de Equipamentos Calibrados de 2014 a 2017 (1) (Fonte: Excel de Apoio à Equipa Lean)

Equipamentos Calibrados	2014	2015	2016	2017	Total Geral
MULTÍMETRO	912	1064	873	833	3682
PINÇA MULTIMÉTRICA	392	462	426	374	1654
CRONÓMETRO	244	282	287	341	1154
TAQUÍMETRO	203	223	265	208	899
MEGAOHMÍMETRO	183	252	208	210	853
GERADOR DE SINAIS	225	191	205	202	823
ANALISADOR DE INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS	137	206	186	186	715
MEDIDOR DE TERRA	133	188	140	137	598
PINÇA AMPERIMÉTRICA	145	150	109	144	548
ANALISADOR DE AUDIO	96	98	98	55	347
FREQUENCIÓMETRO	51	72	122	91	336
SCOPEMETER	65	98	80	89	332
GERADOR DE FUNÇÕES	62	46	142	81	331
MULTÍMETRO MULTICANAL	58	64	81	96	299
ANALISADOR DE REDES	81	87	65	58	291
ANALISADOR DE ENERGIA	54	57	55	67	233
FONTE DE ALIMENTAÇÃO	36	40	55	94	225
EQUIPAMENTO DE ULTRA SONS - ELÉCTRICO	40	57	71	51	219
OSCILOSCÓPIO	51	55	54	49	209
CALIBRADOR MULTI-FUNÇÃO	39	48	60	55	202
POSTO DE ENSAIO DE SEGURANÇA ELÉCTRICA	45	54	50	52	201
ATENUADOR RF	43	23	94	36	196
HIGRÓMETRO (LAB. ELECT)	44	74	38	24	180
ANALISADOR DE FREQUÊNCIAS	33	75	30	39	177
REGISTADOR DE TEMPERATURA/ELÉCTRICO	38	50	38	38	164
MICROHMÍMETRO	21	50	47	43	161
DÉCADA DE RESISTÊNCIAS	24	35	47	43	149
TESTADOR DE BATERIAS	24	40	44	38	146
ANALISADOR DE DISJUNTORES		36	44	41	121
WATÍMETRO	23	42	22	30	117
CONTA-ROTAÇÕES	4	8	30	48	90
SENSOR DE POTÊNCIA RF	17	24	18	24	83
MEDIDOR DE ELECTRICIDADE ESTÁTICA	14	19	20	28	81
CALIBRADOR DE PROCESSOS	20	24	15	20	79
ANALISADOR DE ESPECTROS	9	28	24	18	79
GERADOR DE ALTA TENSÃO	25	20	19	11	75
DIGITALIZADOR	11	13	22	28	74
PONTE DE MEDIDA LCR	7	21	17	27	72
SHUNT	10	23	16	18	67
RESISTÊNCIA	14	17	13	17	61
EQUIPAMENTO DE ULTRA-SONS	14	19	16	12	61
MEDIDOR DE ISOLAMENTO	15	13	17	14	59
PONTA DE ALTA TENSÃO	4	19	17	15	55
ANALISADOR DE CABOS	8	17	14	14	53
MEDIDOR DE POTÊNCIA RF	10	14	12	17	53
CALIBRADOR DE TACÓGRAFOS		14	32	5	51
SEQUENCIÓMETRO	13	8	10	20	51
CONDENSADOR	13	13	19	1	46
MEDIDOR DE PH-ELECTRICOS	11	16	11	7	45
MILIOHMÍMETRO	10	7	11	17	45
SIMULADOR DE ECG	8	14	9	13	44
CONDUCTIVÍMETRO	12	9	10	10	41
MEDIDOR DE POTÊNCIA	12	5	4	19	40
CONTADOR DE IMPULSOS	1	16	19	4	40
VOLTÍMETRO	12	10	8	10	40
RESISTIVÍMETRO	11	9	8	11	39

Tabela B.2 – Número de Equipamentos Calibrados de 2014 a 2017 (2) (Fonte: Excel de Apoio à Equipa Lean)

CARREGADOR DE BATERIAS	9	5	19	5	38
CARGA ELECTRÓNICA	5	9	12	9	35
STEREO MODULATOR	11	1	12	11	35
MILIVOLTÍMETRO	9	11	13	1	34
OHMÍMETRO	11	9	4	9	33
TIMER	7	8	12	5	32
SENSOR DE POTÊNCIA	2	9	6	15	32
CARTA AQUISIÇÃO DADOS	12	7	7	5	31
POSTO ENS. SEG. ELÉ. -RIGIDEZ DIELECTRICA	8	9	7	6	30
ANALISADOR DE DESFIBRILAÇÃO	8	3	10	8	29
NETWORK ANALYZER	5	7	5	10	27
VERIFICADOR DE PULSEIRAS	1	10	7	8	26
VERIFICADOR ELECTROESTÁTICO	5	11	4	6	26
MALA DE ENSAIO (VOLTÍMETRICA / AMPERIMETRICA)	4	10	6	6	26
CALIBRADOR DE TEMPERATURA	6	6	7	6	25
PONTE WHEATSTONE	1	4	3	15	23
MÁQUINA SOLDAR	1	6	9	7	23
ANTENA CAMPO MAGNÉTICO	5	3	8	6	22
INDICADOR DE TEMPERATURA - ELÉCTRICO	4	4	8	5	21
AMPERÍMETRO	6	5	4	5	20
FONTE TRIFÁSICA	2	7	3	8	20
GERADOR DE FREQUÊNCIA	4	5	4	6	19
ACOPLADOR DIRECCIONAL DUPLO	5	5	5	4	19
ANALISADOR DE ELECTROBISTURIS	5	4	5	5	19
MULTÍMETRO GRÁFICO	5	3	8	2	18
CAPACÍMETRO	2	5	8	3	18
CONDICIONADOR - ELÉCTRICO	4	3	6	3	16
SIMULADOR DE SPO2	3	4	3	6	16
SIMULADOR DE RCD	3	3	3	7	16
MEDIDOR DE RESISTENCIA DE REDE	4	3	4	5	16
NANOVOLTÍMETRO	3	3	4	5	15
GERADOR DE RDS	6	5	3	1	15
GERADOR DE IMPULSOS	4	3	4	4	15
MEDIDOR DE RCL	2	2	2	8	14
KIT CALIBRAÇÃO - TIPO N	3	2	5	4	14
RESISTÊNCIA PADRÃO	2	4	1	7	14
PONTA ATENUADORA	2	10		1	13
CALIBRADOR SIMULADOR	1	7	2	3	13
ANALISADOR DE FALHAS EM CABOS	2	4	4	3	13
PONTE DE RESISTÊNCIAS	2	4	3	4	13
CARTA AQUISIÇÃO DADOS DINÁMICOS	10	1	2		13
MILIAMPÉRÍMETRO		4	5	3	12
CAIXA DE RESISTÊNCIAS	3	5	3	1	12
DÉCADA DE CAPACIDADES		4	4	3	11
TRANSFORMER TURNS RATIO	3	2	2	4	11
POSTO ENS. SEG. ELE - ISOLAMENTO/RIGIDEZ	1	7	1	2	11
TRANSMISSION TEST SET	3	3	3	1	10
VERIFICADOR DE TENSÕES	5	2	1	2	10
SIMULADOR DE TERMOPARES	2	4	2	2	10
STROBE	2	4	2	2	10
CENTRIFUGA (ROTAÇÃO)	2	2	4	1	9
MEDIDOR DE FASE	1			8	9
TESTADOR DE CONTINUIDADE	1	1	3	4	9
CALIBRADOR DE CORRENTE	1	2	4	2	9
∴					
Total Geral	4069	4948	4781	4572	18370

Na tabela apresentada, encontramos a maior parte dos equipamentos calibrados no laboratório elétrico e de radiofrequência, desde 2014. E sabemos a partir dela, que no total são calibrados em média 4593 equipamentos anualmente.

B.1.4 Recolha de dados efetuados pelos técnicos

Na fase *Measure*, durante a recolha de dados não presencial, foram distribuídas algumas folhas para preencher, ao longo de um mês. Na figura abaixo, é apresentada uma parte de uma das 3 folhas entregues aos técnicos de laboratório.

Como preencher: Preencher a info, e identificar com uma 'X' o tipo de multímetro calibrado, e o padrão utilizado para a calibração do mesmo.

Téc./Est.		Nome	
A	Téc. David	B	Téc. Sónia
C	Téc. Amaral	D	Téc. Ricardo

Duração da recolha de dados: 30 dias

MULTÍMETROS										
Referência	TÉCNICO	Info.		Tipo de MUL				Padrões		
		Dia	Hora do início da cal.	3 Dig.	4 Dig.	5 Dig.	6 Dig.	5500A	5520A	5720A
CELE1234/18	Y	DD/MM	HH:MM		X					X
CELE2004/18	D	4-4	10:12		X					X
CELE2000/18	D	4-4	10:42		X					X
CELE2001/18	B	4-4	11:25		X					X
CELE2002/18	B	4-4	13:20		X					X
CELE2045/18	A	4-4	14:30		X					X
CELE2043/18	A	4-4	15:08		X					X
CELE2042/18	C	4-4	16:25		X					X
CELE2052	C	6-4	09h08		X					X
CELE2079	C	6-4	10h10		X					X
CELE1887	C	6-4	15h33		X					X
CELE2112	D	9-4	11:22		X					X
CELE2111	D	9-4	13:12		X					X
CELE2144	A	9-4	13:28		X					X
CELE2157	C	10-4	13:14		X					X
CELE2232	D	10-4	15:29		X					X
CELE2231	B	11-4	16:43		X					X
CELE2245/18	C	13-4	9:11		X					X
CELE2253	C	13-4	10h02		X					X

Figura B.4- Exemplo de uma das folhas entregues aos técnicos, para recolha de dados

MULTÍMETROS											Nº de multímetros	Taxa de chegada / utilização
Referência	TÉCNICO	Dia	Hora do início da cal.	Tipo de MUL				Padrões				
				3 Dig.	4 Dig.	5 Dig.	6 Dig.	5500A	5520A	5720A		
CELE1957/18	C	03/abr	09:46		X				X		2	2%
CELE1926/18	C	03/abr	10:35			X			X		54	66%
CELE2004/18	D	04/abr	10:12		X			X			24	29%
CELE2000/18	D	04/abr	10:42		X			X			2	2%
CELE2001/18	B	04/abr	11:25		X			X			42	51%
CELE2002/18	B	04/abr	13:20		X			X			39	48%
CELE2045/18	A	04/abr	14:30		X			X			1	1%
CELE2043/18	A	04/abr	15:08		X			X				
CELE1980	C	04/abr	16:00				X		X			
CELE2042/18	C	04/abr	16:25		X			X				
CELE2014	C	04/abr	17:31		X				X			
CELE2012	C	04/abr	17:36		X				X			
CELE1886	C	05/abr	14:45		X				X			
CELE2052/18	C	06/abr	09:08		X			X				
CELE2079/18	C	06/abr	10:10		X			X				
CELE2040	A	06/abr	10:33			X			X			
CELE2039	A	06/abr	13:09			X			X			
CELE2037	D	06/abr	13:53			X			X			
CELE2038	D	06/abr	14:41			X			X			
CELE1887/18	C	06/abr	15:33		X			X				

Tipo de multímetro	3 Dig.	2	2%
	4 Dig.	54	66%
	5 Dig.	24	29%
	6 Dig.	2	2%
Padrões	5500A	42	51%
	5520A	39	48%
	5720A	1	1%

<p>Cálculo do Erro de Recolha de dados relativamente ao valor apresentado no excel de apoio à equipa Lean, de multímetros calibrados</p> <p>24,8%</p>	<p>Número de observações</p> <p>82</p>
---	--

Posto 1	42	51%
Posto 2	39	48%
Posto 3	1	1%

Figura B.5 - Documento excel onde foram colocadas as observações

Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, encontramos do lado direito da tabela onde foram inseridos os dados recolhidos, algumas conclusões como: a taxa de chegada desde o dia 3 de abril a 6 de maio de 2018, onde pudemos chegar a conclusão que o posto 3 é raramente utilizado pelos multímetros, e isto deve-se à baixa percentagem de chegada de multímetros de 6 dígitos, que só devem

ser calibrados nesse posto.

B.1.5 Recolha de dados dos tempos das calibrações

Referência	CALIBRAÇÃO									TOTAL		CARACTERIZAÇÃO		PONTOS		
	t1 início	t2 fim	Tempo de inicialização [mm:ss]	t3 início	t4 fim	Calibração [mm:ss]	t5 início	t6 fim	Tempo de finalização [mm:ss]	Tempo 'T' [mm:ss]	Tempo 'T' [minutos]	Posto de trabalho	Tipo	Pontos	Tempo efetivo / ponto [mm:ss]	Tempo efetivo / ponto [segundos]
CELE 2176/18	13:40:50	13:43:29	02:39	13:43:29	13:45:06	01:37	13:45:06	13:49:50	04:44	09:00	9,00	posto 1	4 dig	6	00:16	16
CELE 2178/18	13:44	13:47:10	02:58	13:47:10	13:48:15	01:05	13:48:15	13:52:35	04:20	08:23	8,38	posto 1	4 dig	6	00:11	11
CELE 2179/18	13:49:12	13:50:10	00:58	13:50:10	13:51:07	00:57	13:51:07	13:54:10	03:03	04:58	4,97	posto 1	4 dig	6	00:10	10
CELE 2234/18	15:10:38	15:13:21	02:43	15:13:21	15:37:12	23:51	15:37:12	15:42:05	04:53	31:27	31,45	posto 1	4 dig	44	00:29	29
CELE1887/18	15:32:10	15:39:20	07:10	15:39:20	16:02:34	23:14	16:02:34	16:08:15	05:41	36:05	36,08	posto 2	4 dig	35	00:40	40
CELE2000/18	10:41:21	10:44:10	02:49	10:44:10	10:53:14	09:04	10:53:14	10:56:06	02:52	14:45	14,75	posto 1	4 dig	31	00:05	5
CELE2000/18	13:24:23	13:29:05	04:42	13:29:05	13:50:00	20:55	13:50:00	13:55:00	05:00	30:37	30,62	posto 1	4 dig	33	00:38	38
CELE2001/18	11:27:20	11:29:38	02:18	11:29:38	11:56:55	27:17	11:56:55	12:00:00	03:05	32:40	32,67	posto 1	4 dig	59	00:28	28
CELE2003/18	14:02:23	14:12:00	09:37	14:12:00	14:21:50	09:50	14:21:50	14:25:00	03:10	22:37	22,62	posto 1	4 dig	6	01:38	98
CELE2004/18	10:12:55	10:23:50	10:55	10:23:50	10:34:28	10:38	10:34:28	10:41:20	06:52	28:25	28,42	posto 1	4 dig	31	00:13	13
CELE2013/18	13:46:22	13:49:57	03:35	13:49:57	14:03:33	13:36	14:03:33	14:06:47	03:14	20:25	20,42	posto 2	4 dig	37	00:20	20
CELE2037/18	13:55:17	14:05:08	09:51	14:05:08	14:37:38	32:30	14:37:38	14:42:59	05:21	47:42	47,70	posto 2	5 dig	57	00:33	33
CELE2038/18	14:44:32	14:51:57	07:25	14:51:57	15:29:18	37:21	15:29:18	15:33:29	04:11	48:57	48,95	posto 2	5 dig	57	00:35	35
CELE2039/18	13:11:15	13:16:12	04:57	13:16:12	13:51:12	35:00	13:51:12	13:56:07	04:55	44:52	44,87	posto 2	5 dig	57	00:32	32
CELE2040/18	10:33:20	10:40:15	06:55	10:40:15	11:20:05	39:50	11:20:05	11:30:10	10:05	56:50	56,83	posto 2	5 dig	80	00:30	30
CELE2042/18	16:30	16:34	04:00	16:34:00	16:52	18:00	16:52:00	16:57	05:00	27:00	27,00	posto 1	4 dig	53	00:16	16
CELE2043/18	15:11:00	15:16:00	05:00	15:16:00	15:44:00	28:00	15:44:00	15:48:00	04:00	37:00	37,00	posto 1	4 dig	40	00:30	30
CELE2045/18	14:28:30	14:35:40	07:10	14:35:40	15:00	24:20	15:00:00	15:05	05:00	36:30	36,50	posto 1	4 dig	33	00:35	35
CELE2052/18	09:06:29	09:17:20	10:51	09:17:20	10:00:00	42:40	10:00:00	10:07:00	07:00	01:00:31	0,52	posto 1	4 dig	49	00:49	49
CELE2079/18	10:12:06	10:17:10	05:04	10:17:10	10:37:27	20:17	10:37:27	10:42:28	05:01	30:22	30,37	posto 1	4 dig	63	00:19	19
CELE2177/18	13:36:46	13:38:17	01:31	13:38:17	13:39:07	00:50	13:39:07	13:43:30	04:23	06:44	6,73	posto 1	4 dig	6	00:08	8
CELE2229/18	14:49:32	15:00:02	10:30	15:00:02	15:53:07	53:05	15:53:07	15:56:32	03:25	07:00	7,00	posto 1	4 dig	59	00:41	41
CELE2232/18	16:14:03	16:16:23	02:20	16:16:23	16:24:56	08:33	16:24:56	16:29:36	04:40	15:33	15,55	posto 1	4 dig	22	00:13	13
CELE2233/18	15:39:12	15:52:14	13:02	15:52:14	16:29:14	37:00	16:29:14	16:36:04	06:50	56:52	56,87	posto 1	4 dig	31	00:22	22
CELE2251/18	14:13:30	14:20:15	06:45	14:20:15	14:38:10	17:55	14:38:10	14:42:02	03:52	28:32	28,53	posto 1	4 dig	45	00:24	24
CELE2253/18	09:56:10	10:04:29	08:19	10:04:29	10:21:15	16:46	10:21:15	10:28:54	07:39	32:44	32,73	posto 1	4 dig	19	00:20	20
CELE2265/18	09:09:30	09:12:20	02:50	09:12:20	09:52:30	40:10	09:52:30	09:56:42	04:12	47:12	47,20	posto 1	4 dig	46	00:35	35
...

Figura B.6 - Folha excel dos dados com os tempos de calibração

Na figura acima, podemos ver os dados obtidos quando foi feita a observação dos tempos de calibração. O primeiro tempo é o tempo de inicialização da calibração, onde o técnico reúne todos os acessórios necessários para iniciar a calibração, o segundo tempo, é o tempo estudado, o tempo da calibração total com ocorrências e o terceiro tempo é o tempo de finalização, onde o técnico trata de imprimir o certificado, imprimir etiquetas e arrumar os acessórios utilizados durante a calibração. Na coluna “total”, temos todos estes tempos mencionados juntos, na “caracterização” temos o local onde foi executada a calibração do multímetro e o tipo de multímetro que foi calibrado e na coluna “Pontos”, temos o número de pontos que foram medidos na calibração, de forma a dividir o tempo de calibração pelo número de pontos, porque existe uma grande variedade de numero de pontos, que gera uma grande variabilidade na amostra. Foi utilizada uma folha semelhante para a fase *Improve*, quando o processo foi medido novamente durante o Teste Piloto. Num quadro ao lado, apresentado na figura seguinte, encontramos os tempos das várias ocorrências que aconteceram durante algumas calibrações observadas.

TEMPOS QUE NÃO SÃO CALIBRAÇÃO (OCORRÊNCIAS)												
t1 inicial	t1 final	Tempo da 1ª ocorrência	t2 inicial	t2 final	Tempo da 2ª ocorrência	t3 inicial	t3 final	Tempo da 3ª ocorrência	Total t's [mm:ss]	Calibração sem ocorrências [mm:ss]	Calibração sem ocorrências [minutos]	Ocorrências
15:42	15:50:02	07:12	15:55:21	15:57:07	01:46	16:06:21	16:23:16	16:55	25:53	11:07	11,12	E,2XF
										07:02	7,03	-
14:44	14:45	01:00	14:50	14:54	04:00				05:00	19:20	19,33	F,B
10:28:22	10:32:31	04:09							04:09	06:29	6,48	A
10:44:40	10:51:05	06:25							06:25	02:39	2,65	A

Figura B.7 - Coluna com os tempos das ocorrências

B.1.6 Cálculos efetuados para as Cartas de Controle (I-MR)

Segundo Costa A. et al (2004), se a variável a controlar é uma variável contínua, o normal é monitorizar essa variável através de dois gráficos de controlo, um para monitorizar a centralidade e outro para monitorizar a dispersão da variável. Os gráficos que geralmente são utilizadas para garantir esta monitorização são: o da média da amostra (Carta I) e o da amplitude da amostra (Carta MR). São então apresentados os cálculos para a elaboração da Carta I:

$$LM = \bar{x}$$

Equação 1 – Limite médio da carta I

LM é o limite médio e representa a estimativa da média do processo. onde \bar{x} é a média da amostra

$$UCL = \bar{x} + k \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

Equação 2 – Limite de controlo superior da carta I

O upper control limit (UCL) é o limite superior de controlo, onde k representa os três desvios padrão, MR a amplitude móvel média que é a média das amplitudes duas a duas e d_2 é o fator de correção para estimadores estatísticos enviesados, obtidos através da tabela padrão, que neste caso d_2 é igual a 1,128.

O lower control limit (LCL), é o limite inferior de controlo.

$$LCL = \bar{x} - k \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

Equação 3 – Limite de controlo inferior da carta I

No caso das Carta MR, os cálculos efetuados são os seguintes:

$$LM = \overline{MR}d_2w$$

Equação 4 – Limite médio da carta MR

O limite médio é agora calculado através da \overline{MR} , da constante d_2 e w que é a distância entre observações para cálculo da amplitude, no nosso caso a distância foi de $w=2$.

$$UCL = d_2 \cdot w \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2 \cdot w} + kd_3 \cdot w \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2 \cdot w}$$

Equação 5 – Limite de controlo superior da carta MR

No cálculo do limite de controlo inferior temos um novo parâmetro, d_3 que é uma constante obtida através da tabela padrão onde $d_3 = 0.8525$.

$$LCL = d_2 \cdot w \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2 \cdot w} - kd_3 \cdot w \cdot \frac{\overline{MR}}{d_2 \cdot w}$$

Equação 6 – Limite de controlo inferior da carta MR

O limite inferior de controlo é semelhante ao limite de controlo superior, com a pequena diferença que em vez de se somar, subtrai-se.

B.1.7 Cartas de Controlo por ordem temporal

À semelhança das cartas de controlo apresentadas na página 44, estas cartas tencionam evidenciar tendências e variabilidades existentes no processo. Estas cartas, em contraste com as outras cartas, mostram-nos as observações efetuadas organizadas cronologicamente pelas horas do dia, enquanto as outras estão ordenadas cronologicamente pelos dias das observações. O objetivo destas cartas é perceber se existe alguma tendência que seja característica das calibrações efetuadas da parte da manhã ou de tarde. Os tempos considerados foram apenas os tempos por ponto, devido a grande variabilidade existente no tempo de calibração, que se pode ver ao longo do texto principal. Estas cartas também já vão ser apresentadas sem os *outliers*, já encontrados e eliminados na análise das cartas de controlo de ordem cronológica.

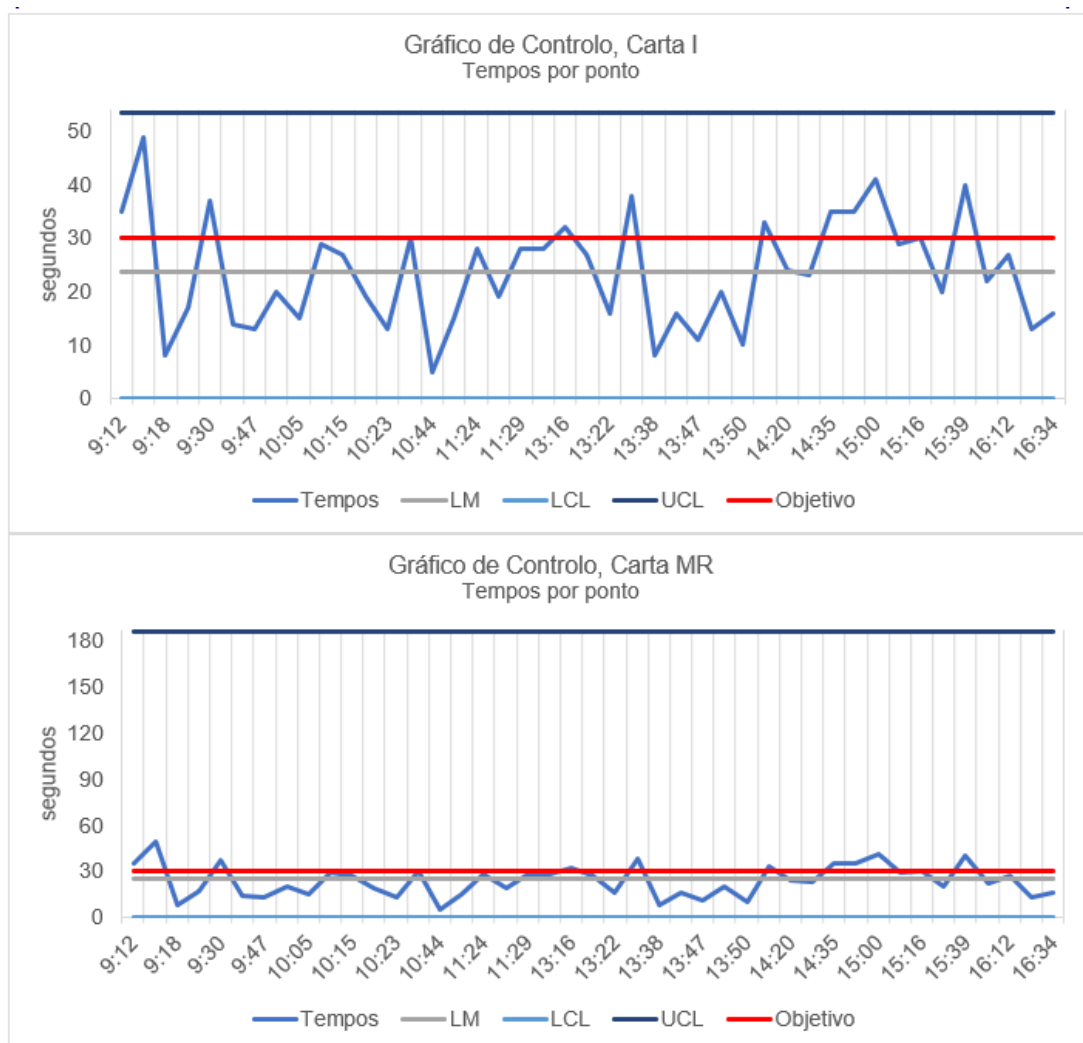


Figura B.8 – Cartas de Controlo dos tempos por ponto, com ordem temporal

Através das cartas de controlo apresentadas na Figura B.8, podemos concluir que o processo se encontra sobre controlo e não existe nenhuma tendência. De uma forma global, na Carta I, conseguimos ver que existem cerca de 9 observações que estão abaixo da média, tanto da parte da

manha, como da parte da tarde. Mas podemos ver que a partir das 14h até às 16h, as observações estão acima do limite médio, demorado mais tempo do que o normal, a razão desta tendência pode dever-se a serem horas após o almoço, havendo um ambiente mais propício a distrações e tempos de inicialização do processo mais demoradas.

B.1.8 Ajustamento dos dados a uma distribuição teórica

No texto principal foi apresentado apenas o resultado do teste *Anderson-Darling* na página 49, na figura seguinte são apresentados mais 9 distribuições que a não excluíram a hipótese da distribuição da amostra se ajustar, relativamente aos tempos de calibração e por ponto, num total de 60 distribuições no caso do tempos por ponto e 59 nos tempos de calibração.

Tabela B.3 – Distribuições que também podiam ser ajustadas às amostras

Goodness of Fit - Summary					Goodness of Fit - Summary						
#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank			Statistic	Rank	Statistic	Rank
11	Error	0,07933	4	0,23129	1	21	Gen. Gamma (4P)	0,09419	5	0,2098	1
7	Dagum	0,07213	1	0,24543	2	30	Johnson SB	0,10227	7	0,21024	2
21	Gen. Extreme Value	0,07865	3	0,38016	3	8	Dagum (4P)	0,07972	1	0,21839	3
49	Pert	0,08742	10	0,49441	4	50	Pert	0,11001	12	0,22367	4
42	Normal	0,0846	5	0,53699	5	11	Error	0,08607	3	0,25198	5
29	Inv. Gaussian (3P)	0,08505	7	0,56231	6	38	Log-Pearson 3	0,11706	16	0,25759	6
48	Pearson 6 (4P)	0,09285	12	0,58016	7	3	Burr (4P)	0,11546	15	0,27549	7
16	Fatigue Life (3P)	0,08755	11	0,58875	8	2	Burr	0,10998	11	0,27551	8
10	Erlang (3P)	0,08481	6	0,60391	9	21	Gen. Extreme Value	0,10994	10	0,28071	9

Mas destas distribuições as escolhidas foram selecionadas as que estavam no ranking 1 do teste *Anderson-Darling*, a *Error* para a amostra dos tempos de calibração e a *Generalized Gamma* para os tempos por ponto.

A distribuição teórica *Error*, segundo Hira (2006), esta distribuição de três parâmetros tem uma variedade de formas simétricas, como a que foi obtida, a sua forma varia dependendo dos parâmetros.

A distribuição teórica *Generalized Gamma*, segundo Gomes (2017), é uma distribuição flexível que inclui várias distribuições como a Exponencial, Lognormal, Gamma, Weibull, Levy, entre outras, dependendo do valor dos parâmetros

Referências

Achanga P., Shehab E., Roy R., Nelder G., (2006), "Critical success factors for lean implementation within SMEs", *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.17, n.4, p. 460-710, DOI: 10.1108/17410380610662889

Antony J., (2010), "Some perspectives from leading academics and practitioners", *international Journal of Productivity and Performance Management*, v. 60, n. 2

APQ (Associação Portuguesa para a Qualidade), Instituto Português da Qualidade (tradução), (2015), "Sistemas de Gestão da Qualidade Requisitos (ISO 9001:2015)", v.24, n.17., IPQ.

Agrahari R.S., Dangle P.A., Chandratre K.V., (2015), "Implementation of 5S Methodology In The Small Scale Industry: A Case Study", v.33, n. 7, *International Journal Of Scientific & Technology Research*.

Buesa, R. J. (2009), "*Adapting lean-to histology laboratories. Annals of diagnostic pathology*", v.15, n.3, p. 254-276, DOI: 10.1016/j.anndiagpath.2009.06.005

Bayo-Moriones, A., Bello-Pintado, A. e De Cerio, J. M. (2010), "*5S Use in Manufacturing Plants: Contextual Factors and Impact on Operating Performance. International Journal of Quality e Reliability Management*", DOI: 10.1108/02656711011014320.

Costich-Sicker T., Sheehy P., Samuel P., Navarro D., Ziemer T., Silvers R., Keyes V., Godden S., Dziark J., Burton T., Lemmons M., Dixon D., Picard D., Page D., Kierstead, M., Page B., (2002), "*The Black Belt Memory Jogger*", GOAL/QPC.

Conceição A. C, M., Major M. J. M. F., (2011), "*Adoção do Six Sigma pelas 500 Maiores Empresas em Portugal*", v.32, n.4, *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*.

Costa A., Epprecht E., Carpinetti L., (2004), "*Controle Estatístico de Qualidade*", São Paulo: Atlas.

Castro R. A., (2016), "*Lean Six Sigma – Para qualquer negócio*", IST PRESS.

CEN (Comité Europeu de Normalização), Instituto Português da Qualidade (tradução), (2005), "Norma Portuguesa: Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração (ISO/IEC 17025:2005)".

Eckes, G. (2001), "*A Revolução Seis Sigma: O método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros*", Campus.

Fonseca L., Leite D., Lima V., (2014), "Six Sigma Methodologies: Implementation and impacts on Portuguese small and medium companies (SMEs)", pág. 23- 41, International Journal for Quality Research.

Furterer S., Elshennawy A. K., (2007), "*Total Quality Management et Business Excellence*", v.10, n.13, pag. 56-124, DOI: 10.1080/14783360500236379.

Ferra, M. (2017), "Redução do Tempo de Calibração no Laboratório Elétrico & Radiofrequência", Lisboa

Ghinato P., (1995), "*Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-inTime*",v.21, n.5, pag. 176-215, DOI 10.1590/S0103-65131995000200004.

Gomes O., Combes C., Dussauchoy A., (2007), "*Four-Parameter Generalized Gamma Distribution used for Stock Return Modelling*", IEEE, v.9, n.16, pag. 15 – 80, DOI: 10.1109/CESA.2006.4281682

Harry, M. e Schoroeder, R. (2000), "Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations", New York: Currency.

ISQ, (2015), "*2015 Annual Report and Accounts, ISQ individual accounts*", ISQ

Imai, M. (2008), KAIZEN *Institute*, obtido em 5 novembro de 2017, de KAIZEN *Institute*: www.kaizen.com.

Imai, M. (2012), "*Gemba Kaizen: A common sense Approach to a Continuous Improvement Strategy*", 2ª Edição, New York: MsGraw-Hill.

International Standard, (2011), "Quantitative methods in process improvement - Six Sigma - DMAIC methodology"

Jackson, T. L.; JONES, K. R., (1996), *Implementing a Lean Management System*, Brasil.

Kwak, Y. H., Anbari F. T., (2004), "*Benefits, obstacles, and future of six sigma approach*", v.10, n.20, pag. 2 – 6, DOI: 10.1016/j.technovation.2004.10.003.

Kume, H. (1993), "*Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade*", São Paulo: Editora Gente.

Kwak, Y.H., Anbari, F.T. (2004). "*Benefits, obstacles, and future of six sigma approach*", , n.26, v.5, pag.708-715, Tech innovation.

LEA, "5 Whys - Problem Solving Skills from MindTools.com", obtido a 29 de Outubro de 2017, http://www.mindtools.com/pages/article/newTMC_5W.htm.

Linderman, K. (2003), "Six Sigma: a goal-theoretic perspective", v.21, n.2, pag.193-203, Journal of Operations Management.

Marques, P.A., Meyrelles P. M., Saraiva P. M., Frazão-Guerreiro F. J., (2015), “*Integrating Lean Six Sigma with ISO 9001:2015*”, Instituto de Soldadora e de Qualidade.

Moreira, A. C., Pais, G. C. S. (2011), “*Single Minute Exchange of Die. A Case Study Implementation. Journal of Technology Management & Innovation*” v. 6 n.1, pag.129-146.

Monden Y. (2012), “*Sistema Toyota de Produção*”, TAYLOR & FRANCIS INC.

Nogueira R. R., Cotrim S. L., Leal G. C. L., (2016), “*Implementação do Lean Seis Sigma em uma indústria de fios têxteis*”, v. 7, n.23, pag.56-98, GEPROS. Gestão da Produção, Operação e Sistemas. DOI: 10.15675/gepros.v12i2.1634.

Pacheco D. A. J., (2013),” Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração”, UFRGS.

Pete S., Larry H., (2001), “*Six Sigma Guide*”, McGraw-Hill Professional

Pinto, J.P., (2016), “Os primeiros passos na Jornada Lean”, Euedito, CLT Value-based Services.

Parkash e Kaushik (2011), “Dynamics of the Planning process in the local public administration (SIPOC DIAGRAM and PM)”, Academia de Administração Pública.

Rother, M. e Shook,J. (1999), “*Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate MUDA*”, Lean Enterprise Institute.

Rooney, J. J., Van den Heuvel, L. N. (2004), “*Root Cause Analysis for Beginners*”, v.37, n.7, pag. 45–53, Quality Progress.

Salah S., Rahim A., Carretero J., (2010), “*The Integration of six sigma and learn management*”, International Journal of Lean Six Sigma, v.1, n.3, p.249-274, DOI: 10.1108/20401461011075035

Smith, B. (2003), “*Lean and Six Sigma – A one-two punch*”, ASQ.

Shingo, S. (1981), “*Study of Toyota Production System – From an industrial engineering viewpoint*”, Productivity Press.

Sondalini, M. (2011), “Understanding How to Use the 5-Whys for Root Cause Analysis”, *Lifetime Reliability Solutions*, obtido a 29 de Novembro de 2017, http://www.lifetime-reliability.com/tutorials/lean-management-methods/How_to_Use_the_5-Whys_for_Root_Cause_Analysis.pdf.

Sugai, M. e McIntosh, R. I. e Novaski, O. (2007), “*Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso.*”, Gestão & Produção, DOI: 10.1590/S0104-530X2007000200010.

Vinodh S., Gautham S.G., Anesh R. R. (2010), “*Implementing Lean Sigma framework in an India automotive valves manufacturing organisation: a case study*”, DOI: 10.1080/09537287.2010.546980.

Vijaymohan, P. e Aravindha, S. (2014), "*Lead Time Reduction in Windmill Control Panel Manufacturing*", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.

Werkema, C. (2012), "Criando a Cultura Lean Seis Sigma", 2ª Edição, Elsevier Brasil.

Waring, J.J. e Bishop, S. (2010), "*Social Science & Medicine Lean healthcare: Rhetoric, ritual and resistance*", *Social Science & Medicine*", v.28, n.12, pag. 21 – 56, DOI: 10.1016/j.socscimed.2010.06.028.

Wong, W. P. e Wong, K. Y. (2013). "*Synergizing an ecosphere of lean for sustainable operations*". *Journal of Cleaner Production*", v.17, n.25, pag.196-236, DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.093.

Womack, J e Jones, D. T. (2003), "*Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*", 2ª Edição, New York: Free Pass.

