Diagnóstico e melhoria do desempenho do sistema de produção, numa lógica Lean e Lean 4.0, aplicado a um caso de estudo

Francisca de Baptista de Melo d'Orey Velasco

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientadores: Prof. Paulo Miguel Nogueira Peças

Eng. Margarida Boler Cláudio da Silva Barros

Júri

Presidente: Prof. Rui Manuel dos Santos Oliveira Baptista

Orientador: Prof. Paulo Miguel Nogueira Peças

Vogais: Prof. Inês Esteves Ribeiro

Prof. Samuel de Oliveira Moniz

Julho 2020

Agradecimentos

Desde o início que decidi que esta seria a última página a escrever. Sempre ouvi dizer que os últimos são os primeiros e, de facto, se há coisa que me despertou o interesse nesta área é a importância que as pessoas têm, em tudo na nossa vida.

Por isso, não posso deixar de começar por agradecer ao meu orientador desta dissertação, o Professor Paulo Peças, para mim uma referência dentro do Instituto Superior Técnico. Desde que tive a cadeira de Gestão da Produção que não tive dúvidas quanto à escolha do tema e do orientador. Um agradecimento não é suficiente para toda a paciência, conhecimento, simpatia e disponibilidade demonstrados ao longo de todo este período.

À minha coorientadora e amiga, Margarida, por todo o apoio prestado ao longo destes meses, tanto na ajuda que me deu para a concretização deste documento, como por todos os bons momentos que me proporcionou nesta etapa tão importante da minha vida. À Helena que, tal como a Margarida, esteve comigo durante os dois meses de estágio, o meu sincero agradecimento por todos os ensinamentos, tanto a nível profissional como, acima de tudo, pessoal.

Gostaria também de agradecer a todos os colaboradores da GenIbet, por me terem integrado tão bem durante o estágio, sempre com simpatia, alegria e seriedade nos momentos necessários.

Ao Lino, por todo o apoio teórico e prático que me deu nesta dissertação. Obrigada por seres um mestre da programação e por teres tido toda a paciência do mundo para me ensinares a soldar e a montar circuitos!

Sempre me disseram que era na faculdade que iria arranjar amigos para a vida. Não podia deixar de agradecer ao meu melhor amigo de todas as horas, o Vivi. Obrigada por não teres desistido de lutar pelos teus sonhos e teres entrado no Técnico quando eu entrei. Obrigada por tudo o que fizeste por mim ao longo destes anos, a culminar nesta dissertação na qual te demonstraste sempre disponível para ajudar no que fosse possível.

Levo desta instituição amigos muitos especiais que contribuíram para o sucesso da minha vida académica e pessoal: ao Faísca, à Inês, ao João, à Matilde, à Moiçó, ao Paraíso, ao Pinto, à Rita e à Sara, o meu maior agradecimento por terem entrado na minha vida! Ao Manel, que apesar de não ser das engenharias, sempre me apoiou quando mais precisei, com a sua alegria e espontaneidade.

Ao PSEM, por todos os meses intensamente vividos, pela amizade que formámos e por todo o conhecimento que adquiri. Um agradecimento muito especial ao Duarte e ao Francisco, dois amigos deste projeto que levarei para sempre comigo. Ao meu grupo de Taekwondo, obrigada por toda a diversão e por todos os valores que me transmitem semanalmente em todos os treinos.

Tal como dito no início desta página, como os últimos são os primeiros, o maior obrigado deste mundo aos meus pais e ao meu irmão, serão sempre o meu pilar, aqueles que nunca duvidaram e que sempre lutaram e me proporcionaram tudo para que este dia chegasse! São os melhores do mundo.

Resumo

A quarta revolução industrial, ao fazer uso do elevado potencial conferido pelas tecnologias de comunicação e informação, surge para fazer face às crescentes exigências de um mercado cada vez mais competitivo, onde a inovação nas estratégias de negócio, a personalização dos produtos e o aumento da eficiência dos processos são requisitos fundamentais. A presente dissertação pretende contribuir para a evolução da filosofia Lean para o Lean 4.0, através do uso consciente de ferramentas Lean tradicionais apoiadas pela digitalização.

A dissertação baseia-se num caso de estudo realizado a uma empresa de produção de biofármacos. O estudo iniciou-se com a realização de um diagnóstico a um fluxo de produção, com a consequente identificação de problemas e respetivos principais níveis de causa. Posteriormente, em conjunto com equipas internas à empresa, formularam-se diversas contramedidas para colmatar os problemas encontrados e traçou-se um plano de ação para os resolver.

A fase que contempla todo o diagnóstico, até ao início da implementação de melhorias, teve a duração de aproximadamente 2 meses, levantando a questão da possibilidade de diagnosticar o processo de uma forma automática, em tempo real e, consequentemente, proporcionar o aumento da sua fiabilidade e robustez.

A empresa onde o caso de estudo foi realizado apresenta uma elevada incidência de registos manuais, sem recolha de dados em tempo real. Nesta categoria de empresas, o receio por investimentos avultados é uma realidade, por isso, a presente dissertação pretende demonstrar que, através de sensorização de baixo custo e de rápida implementação, é possível recorrer ao potencial da digitalização e das tecnologias de comunicação e informação.

Por razões de ordem cronológica, as ideias de sensorização foram desenvolvidas não com o intuito de reforçar o diagnóstico já feito, mas sim como apoio à standardização das melhorias implementadas com recurso a ferramentas Lean tradicionais. Os sensores implementados permitem medir, em tempo real, o impacto de alguns dos problemas detetados aquando do diagnóstico, permitindo monitorizar o cumprimento das melhorias implementadas por parte dos operadores. Desenvolveu-se o *layout* de um possível *dashboard* analítico de apoio ao controlo da standardização das melhorias, com a seleção de indicadores de desempenho e de valores alvo para os dados obtidos pelos sensores.

Por último formulou-se uma metodologia de auxílio às empresas na evolução do Lean para o Lean 4.0, que engloba todo o processo, desde a realização do diagnóstico à consolidação da standardização. Apesar desta metodologia ter sido somente aplicada ao caso de estudo da presente dissertação, trata-se de um instrumento de apoio à fase de standardização de qualquer procedimento, aplicável, por isso, a todo o setor industrial.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*, Sensores, *Dashboard*, Metodologia, Standardização.

Abstract

The fourth industrial revolution, by using the high potential conferred by communication and information technologies, arises to meet the growing demands of an increasingly competitive market, where innovation in business strategies, customization of products and increased process efficiency are fundamental requirements. This master thesis aims to contribute to the evolution of the Lean Manufacturing to Lean 4.0, through the conscious use of traditional Lean tools supported by digitization.

The dissertation is based on a case study done in a biopharmaceutical production company. The study began with the realization of a diagnosis to a production flow, with the consequent identification of problems and their main levels of cause. Subsequently, together with teams internal to the company, several countermeasures were formulated to address the problems encountered and an action plan was drawn up to solve them.

The phase that contemplates the entire diagnosis, until the beginning of the implementation of improvements, lasted approximately 2 months, raising the question of the possibility of diagnosing the process in an automatic, real-time manner and, consequently, providing increased reliability and robustness.

The company where the case study was carried out has a high incidence of manual records, without real-time data collection. In this category of companies, the fear of large investments is a reality, so this dissertation aims to demonstrate that, through low-cost sensing and rapid implementation, it is possible to use the potential of digitization and communication and information technologies.

For chronological reasons, the sensors were developed not in order to reinforce the diagnosis already made, but as support to the standardization of the improvements implemented using traditional Lean tools. The implemented sensors allow to measure, in real time, the impact of some of the problems detected at the time of diagnosis, allowing to monitor compliance with the improvements implemented by operators. The layout of a possible analytical dashboard was developed to support the control of the standardization of improvements, with the selection of performance indicators and target values for the data obtained by the sensors.

Finally, a methodology was formulated to assist companies in the evolution from Lean to Lean 4.0, which encompasses the entire process, from the realization of the diagnosis to the consolidation of standardization. Although this methodology was only applied to the case study of this master thesis, it is an instrument to support the standardization phase of any procedure, applicable, therefore, to the entire industrial sector.

Keywords: *Lean Manufacturing*, Sensors, *Dashboard*, Methodology, Standardization.

Índice

Agradecimentos *3*

Resumo *4*

Abstract *5*

Índice *6*

Índice de Figuras *8*

Índice de Tabelas *11*

Nomenclatura *12*

1. Introdução *13*

2. Revisão Bibliográfica *15*

2.1. Lean Manufacturing **15**

2.1.1. Princípios Lean 16

2.1.2. Casa TPS 17

2.1.3. Conceito de Melhoria Contínua 17

2.1.4. Tipos de Desperdício 19

2.2. Ferramentas Lean Tradicionais **21**

2.2.1. 5S 21

2.2.2. 5-Whys 22

2.2.3. Diagrama de Spaghetti 22

2.2.4. Gráfico Yamazumi 22

2.2.5. Poka-yoke 23

2.3. Indústria 4.0 – A Quarta Revolução Industrial **24**

2.3.1. Indústria 4.0 – Design Principles 25

2.3.2. Integração e arquitetura dos componentes da I4.0 27

2.4. Lean, Melhoria Contínua e Indústria 4.0 ..... **28**

2.4.1. A Digitalização no contexto da I4.0 30

2.4.2. O Lean e a Digitalização 31

2.4.3. Dashboard – Ferramenta de apoio à digitalização 33

2.4.4. Impacto da I4.0 nas dimensões Lean tradicionais 34

3. Aplicação a um caso de estudo *37*

3.1. A empresa **39**

3.1.1. Estrutura 39
3.1.2. Descrição do sistema de produção em estudo 40
3.1.3. Descrição do procedimento de limpeza da sala em estudo 43
3.1.4. Finalização - Changeover 44

4. Diagnóstico e causas raiz 45

4.1. Caracterização do sistema de produção 45
4.1.1. Categorização das tarefas de produção 45
4.1.2. Problemas identificados e respetivos níveis de causa 45

4.2. Caracterização do fluxo de limpeza 47
4.2.1. Categorização das tarefas inerentes à limpeza 47
4.2.2. Problemas identificados e respetivos níveis de causa 48

5. Desenvolvimento de soluções 50

5.1. Lógica da abordagem utilizada 50
5.1.1. Quick-Wins 50
5.1.2. A3 Problem Solving 50

5.2. Contramedidas propostas 51
5.2.1. Incoerência na nomenclatura utilizada nas etiquetas de operação – Quick-Win 51
5.2.2. Dificuldade no preenchimento e realização do changeover – Quick-Win 52
5.2.3. Desperdício associado ao procedimento da Produção – A3 Problem Solving 54
5.2.4. Dificuldades no procedimento de logbooks e etiquetas – A3 Problem Solving 59
5.2.5. Inúmeras entradas e saídas das salas devido à falta de material – A3 Problem Solving 64

6. Standardização das soluções 67

6.1. Estabilidade na standardização das operações 67

6.2. Sensorização da sala Y – Propostas idealizadas 67

6.3. *Dashboard* – Exemplo prático 71

6.4. Metodologia desenvolvida – Lógica de formulação 73
6.4.1. Metodologia aplicada ao caso de estudo 76

7. Conclusões 78

8. Trabalho Futuro 80

9. Referências i

10. Anexos i

Índice de Figuras

Figura 1 – Kaizen [9] 18

Figura 2 - Lógica de implementação do ciclo PDCA [11] 18

Figura 3 - Ciclo PDCA e SDCA integrados numa lógica de melhoria contínua [13] 19

Figura 4 - Exemplo de um shadow board [22] 21

Figura 5 - Exemplo ilustrativo de um Gráfico Yamazumi [24] 23

Figura 6 - Exemplo ilustrativo de um Poka-yoke [25] 23

Figura 7 - Design principles associados aos componentes da I4.0 [32] 25

Figura 8 - Modelo 5C - Arquitetura de CPS [38] 27

Figura 9 - Modelo 8C - Arquitetura de CPS [38] 27

Figura 10 - Exemplo de uma interface gráfica [42] 28

Figura 11 – Combinação entre o Lean e a I4.0 [45] 30

Figura 12 - Impacto da utilização de métodos Lean e da digitalização consoante o nível de complexidade [8] 31

Figura 13 - Sistema iBin apresentado pela Würth Industrie Services GmbH & Co. KG [66] 35

Figura 14 - Esquema detalhado das tarefas realizadas ao longo da dissertação 38

Figura 15 - Pesagem de MP (à esquerda) e montagem de componentes (à direita) 40

Figura 16 - Etiqueta de operação de um equipamento 41

Figura 17 - Embalamento de uma peça 42

Figura 18 - Etiqueta branca e amarela do embalamento 42

Figura 19 - Etiqueta identificativa de equipamento por limpar 43

Figura 20 - Análise efetuada ao processo de montagem de peças 46

Figura 21 - Análise efetuada ao processo de limpeza de sala 48

Figura 22 - 1.ª e 2.ª observações, respetivamente 49

Figura 23 - Template da folha de changeover – versão inicial 52

Figura 24 - Template da folha de changeover para a sala Y - versão melhorada 53

Figura 25 - Utilização indevida de um módulo de gavetas para efetuar um corte de tubo 54

Figura 26 - Aplicação da lógica “5 Whys” ao problema em estudo 55

Figura 27 - Estruturação da arrumação dos componentes no carrinho e respetiva identificação 55

Figura 28 - Utilização de caixas identificativas de cada ciclo de autoclave 56
Figura 29 - Nova disposição da sala Y 56
Figura 30 - Identificação dos utensílios no interior das gavetas da sala Y 57
Figura 31 - Cartão identificativo da passagem de trabalho entre turnos 57
Figura 32 - Gráfico radar aplicado às 5 áreas onde foram implementadas melhorias 58
Figura 33 - Histórico das avaliações semanais realizadas às melhorias implementadas na sala Y 59
Figura 34 – Causas raiz para a existência de dificuldades no preenchimento de logbooks e etiquetas 59
Figura 35 - Averiguação da necessidade de atribuição de logbooks aos vários equipamentos 60
Figura 36 – Raciocínio seguido para determinar a necessidade de um equipamento ter um logbook associado..... 61
Figura 37 - Exemplo ilustrativo das alterações feitas ao logbook de um equipamento (o antes, e o depois) 61
Figura 38 - Alterações efetuadas aos logbooks de sala, o antes e o depois 62
Figura 39 - Exemplo ilustrativo de um marcador colocado num logbook da sala Y 62
Figura 40 - Versão inicial de uma etiqueta branca de operação de um equipamento..... 63
Figura 41 - Nova versão da etiqueta branca de operação de um equipamento..... 63
Figura 42 - Reunião semanal com a equipa responsável pelo A3 em análise 64
Figura 43 - Cartões Kanban e identificação das caixas dos utensílios..... 66
Figura 44 - Fase de construção e pintura das maquetes..... 68
Figura 45 - Maquetes finalizadas, vistas de cima 68
Figura 46 - Exemplo de uma mensagem de alerta ao operador..... 70
Figura 47 - Dashboard desenvolvido para monitorização das melhorias implementadas na sala Y ... 72
Figura 48 - Primeira parte da metodologia - Ciclo PDCA adaptado 74
Figura 49 - Segunda parte da metodologia - Ciclo SDCA adaptado 75
Figura 50 - Metodologia utilizada: caso real (rosa) e caso proposto (azul) 76
Figura 51 - Template ilustrativo de um Quick-Win.....v
Figura 52 - Template ilustrativo de um A3 Problem Solving e Lógica PDCA.....v
Figura 53 - Análise de causas raiz relativas à dificuldade no procedimento da produção vii
Figura 54 - Primeira secção do dashboard - Estado de limpeza dos equipamentos.....ix

Figura 55 - Segunda secção do dashboard - Histórico de limpeza dos equipamentos e respetiva análise x

Figura 56 - Lista das observações gerais de situações que ocorrem com frequência na sala Y xi

Figura 57 - Quinta secção do dashboard - Histórico de entradas e saídas da sala, e respetivas causas xii

Figura 58 - Modo de preenchimento automático do Diagrama de Ishikawa xiii

Figura 59 - Sexta secção do dashboard - Exemplo ilustrativo dos fatores que podem influenciar a Causa X xiii

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens da utilização de tecnologias de digitalização [8], [50] e [63] ... 32

Tabela 2 - Percentagens médias de valor não acrescentado, melhorável e acrescentado, num total de 10 observações ... 46

Tabela 3 - Questionário realizado aos operadores face às novas melhorias implementadas na sala Y ... 58

Tabela 4 - Stock mínimo de materiais a armazenar no interior da sala X ... 65

Tabela 5 - Classificação das tarefas realizadas durante o processo de montagem de uma peça na sala Y ... ii

Tabela 6 - Classificação das tarefas realizadas durante a limpeza da sala Y ... iii

Tabela 7 - Plano de ação respeitante ao QW da incoerência nas nomenclaturas ... vi

Tabela 8 - Plano de ação respeitante ao QW da realização do changeover ... vii

Tabela 9 - Plano de ação respeitante ao A3 – Desperdício associado ao procedimento da produção viii

Tabela 10 - Plano de ação respeitante ao A3 – Dificuldades no preenchimento de logbooks e etiquetas ... viii

Tabela 11 - Plano de ação referente ao A3 das inúmeras entradas e saídas da sala X ... ix

Tabela 12 - Terceira secção do dashboard - Influência das esperas nas montagens das peças que compõem os vários ciclos de autoclave ... xi

Tabela 13 - Quarta secção do dashboard - Entradas e saídas da sala Y durante um processo ... xii

Tabela 14 - Seleção dos componentes a utilizar em cada proposta de sensorização ... xiv

Nomenclatura

BPR – *Batch Production Record*

CoA – *Certificate of Analysis*

CPS – *Cyber Physical Systems*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

GMP – *Good Manufacturing Practices*

IoT – *The Internet of Things*

JIT – *Just-in-time*

I4.0 – Indústria 4.0

KPI – *Key Performance Indicator*

LCD – *Liquid Crystal Display*

LED – *Light Emitting Diode*

MES – *Manufacturing Execution System*

MP – Matéria-prima

NA – *Not Applicable*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

OOS – *Out-of-Specification*

PG – Protocolo Geral

PM – *Project Manager*

PME – Pequena e Média Empresa

QA – *Quality Assurance*

QC – *Quality Control*

QW – *Quick-Win*

SOP – *Standard Operating Procedure*

TPS – *Toyota Production System*

VNA – Valor Não Acrescentado

VSM – *Value Stream Mapping*

1. Introdução

O sucesso do conceito Lean Manufacturing, durante a década de 90, deveu-se à elevada eficácia na redução da complexidade do processo e no foco somente nas atividades com valor acrescentado. No entanto, é certo que a aplicação Lean, na sua forma tradicional, poderá não ser suficiente como resposta à crescente exigência na procura, aos prazos de entrega cada vez mais curtos, e à necessidade de produtos personalizados, isto é, cada vez mais direcionados para cada tipo de cliente (personalização em massa).

Muitas empresas enfrentam sérias dificuldades em manter as melhorias implementadas com recurso a métodos e ferramentas Lean. Acresce que esta filosofia não utiliza o enorme potencial proveniente das tecnologias de informação e comunicação.

A Indústria 4.0 (I4.0) surge, então, como a transição de um paradigma de uma produção centralizada para a sua descentralização, através da comunicação entre objetos, pessoas, máquinas e recursos. Inerente à quarta revolução industrial surgem três conceitos: *The Internet of Things* (IoT), que estabelece a conexão entre todos os operadores e a comunicação com os clientes, *Cyber Physical Systems* (CPS) que, aliados ao conceito de IoT, permitem a identificação dos componentes, o armazenamento e o processamento de dados, e *Smart Factory*. Este último conceito resulta da união dos dois termos anteriormente referidos, e consiste numa unidade fabril inteligente, capaz de analisar o seu estado atual, o seu histórico e os respetivos objetivos operacionais, e de otimizar processos em tempo real, com uma constante supervisão por parte de operadores, também estes apelidados de *smart* por poderem tomar decisões mais céleres e informadas.

Com o aumento da complexidade na análise de dados provenientes da sensorização dos processos, torna-se essencial a filtragem e tratamento dos dados para se obter informação relevante. Surge o conceito de digitalização, como um conceito capaz de gerir toda a informação importante através da utilização de tecnologias digitais, partilhando-a com todos os níveis da organização.

A presente dissertação pretende contribuir para a evolução consciente do Lean para o Lean 4.0, em particular propondo uma metodologia de utilização de tecnologias digitais no apoio à standardização (garantia de cumprimento regular de procedimentos estabelecidos) de melhorias implementadas, resultante da aplicação de métodos de melhoria contínua e Lean tradicionais.

A esta parte introdutória da dissertação sucede o Capítulo 2, no qual consta uma revisão bibliográfica referente aos principais conceitos e ferramentas inerentes à concretização dos objetivos desta dissertação, desde a realização do diagnóstico até à metodologia desenvolvida.

O restante conteúdo da dissertação divide-se fundamentalmente em duas partes. A primeira inclui os capítulos 3, 4 e 5, e a segunda os capítulos 6, 7 e 8.

No capítulo 3 apresenta-se o caso de estudo, que foi desenvolvido numa empresa dedicada à produção de biofármacos. No Capítulo 4, descrevem-se as áreas de produção selecionadas para a realização do

diagnóstico que teve como objetivo primeiramente diagnosticar o respetivo fluxo, seguidamente identificar os seus problemas e, por último, desenvolver e implementar as respetivas soluções.

Ainda no mesmo capítulo são descritas as causas raiz identificadas para os problemas encontrados, e as soluções desenvolvidas, tendo por base os princípios e métodos Lean tradicionais. Seguiu-se a implementação dessas soluções por equipas internas com o apoio de especialistas externos, que são explanadas no Capítulo 5.

Na segunda fase desta dissertação, mais precisamente no Capítulo 6, descrevem-se os sensores utilizados para verificar e sustentar este processo de standardização, à luz dos *design principles* da I4.0, de rápida conceção, com um baixo nível de complexidade e de custo, destinados à medição em tempo real de valores relacionados com os problemas identificados no diagnóstico, por forma a avaliar o impacto das melhorias implementadas. Ainda neste capítulo, e com o intuito de traduzir os resultados obtidos em tempo real pelos sensores em informação útil para o operador, apresenta-se o *dashboard* desenvolvido. Neste *dashboard* foram definidos indicadores de desempenho adequados ao processo e respetivos valores alvo, permitindo uma tomada de decisão imediata no caso de eventuais desvios em relação a estes valores, garantindo o retorno à estabilidade na standardização.

No final deste capítulo, formulou-se uma metodologia de apoio à consolidação da standardização, aplicada ao presente caso de estudo, que orienta o utilizador em todo o processo, desde as observações visuais até à fase final do controlo das soluções.

Por último, os Capítulos 7 e 8 desta dissertação dizem respeito às conclusões relativas ao trabalho realizado, e sugerem algumas ideias para trabalho futuro nesta área.

2. Revisão Bibliográfica

Este capítulo tem como propósito fundamentar teoricamente os diversos temas abordados ao longo desta dissertação. Descreve, sucintamente, a origem do conceito de *Lean Manufacturing*, o seu significado e as ferramentas mais comummente utilizadas. Explora, também, o aparecimento e o impacto da quarta revolução industrial (designada, inúmeras vezes, por Indústria 4.0) no ambiente fabril, com especial ênfase na importância da digitalização para o aumento da eficiência de um sistema de produção.

2.1. Lean Manufacturing

Para se enquadrar historicamente o termo *Lean Manufacturing* é inevitável recorrer-se à indústria automóvel e à sua origem. No final do século XIX, surge a produção artesanal, caracterizada pela produção unitária, "componente a componente", seguida da respetiva montagem, com um custo de produção muito elevado [1]. Assim, apesar de se tratar de um sistema direcionado para o cliente, feito "à sua medida", a qualidade do produto final era facilmente questionável, dado que o método utilizado promovia a produção desigual de componentes semelhantes. Para além da qualidade, também a durabilidade e a fiabilidade eram incertas, devido à ausência de testes de validação da peça finalizada [1].

Assim, no início do século XX, *Henry Ford* introduziu uma técnica inovadora para colmatar as lacunas existentes no sistema de produção em vigor. *Ford* inovou com o conceito de produção em massa, caracterizado pela redução acentuada de custos, acompanhada de um aumento da qualidade do produto final. Este sistema regia-se por grandes volumes de produção, por um processo de desenvolvimento sequencial e não simultâneo associado a menores custos, a uma reduzida variabilidade de produtos e a um número elevado de recursos ("*extra supplies, extra workers, and extra space*") [1]. Os métodos de trabalho utilizados tornaram-se inteiramente standardizados e repetitivos, refletindo, por isso, a desmotivação e o cansaço dos operadores [2]. Posteriormente, já no final do século XX, vingou nas culturas europeia e americana, um novo sistema de produção denominado personalização em massa (globalmente conhecido por *mass costumization*) cujo objetivo consistia em providenciar ao cliente exatamente o produto que ele pretendia, indo ao encontro das suas necessidades individuais, através de um sistema de produção mais dinâmico e flexível [2]. Após a 2ª. Guerra Mundial, com a economia nipónica totalmente destruída e com o aumento da pressão competitiva americana e europeia resultante da personalização em massa, surgiu no Japão a necessidade de desenvolver um sistema que respondesse rapidamente às necessidades existentes. Assim, dois jovens engenheiros da *Toyota Motor Corporation*, *Eiji Toyoda* (sobrinho do fundador da empresa, *Kiichiro Toyoda*, na altura, presidente) e *Taiichi Ohno*, enquanto diretor de produção da *Toyota*, tornaram-se pioneiros de um conceito que, mais tarde, designar-se-ia por produção Lean. Ohno, considerado o pai do *Toyota Production System* (TPS), foi responsável pelo desenvolvimento dos modelos e ferramentas que viriam a marcar a filosofia Lean, revolucionando toda a indústria

japonesa, proporcionando o crescimento económico, e tornando o sistema globalmente mais competitivo [1]. Este sistema de produção da *Toyota* baseava-se numa cultura organizacional dedicada à identificação dos problemas existentes nos processos industriais e cujos esforços estavam concentrados na eliminação dos desperdícios associados [3]. Os pilares que sustentam este sistema revolucionário encontram-se descritos mais à frente na secção 2.1.2 *Casa TPS*.

Mais tarde, com o sucesso da implementação desta filosofia, surgiu o desejo por parte de outros países, essencialmente os europeus e os Estados Unidos, de explorarem as raízes deste sistema inovador. Assim, em 1988, surge o termo *Lean Production*, proferido pela primeira vez pelo investigador *John Krafcik* no evento *The International Motor Vehicle Program*, com o seu artigo *Triumph of the Lean Production System* [4], caracterizado por uma produção que "faz mais com menos" [5] e que, comparativamente à produção em massa, exige: "metade" do esforço humano, "metade" do espaço destinado à produção, "metade" do investimento em ferramentas, "metade" das horas de produção, "metade" do tempo destinado ao desenvolvimento de um produto, menos de "metade" do inventário, resultando num menor número de defeitos e em produtos com maior qualidade e variabilidade [1].

O conceito Lean – traduzido à letra por produção "magra", "isenta de gorduras", "esbelta" – defende a eliminação de todos os tipos de desperdício, isto é, de todas as atividades que não acrescentam valor ao produto final, melhorando continuamente a qualidade e promovendo a redução sistemática dos custos de operação associados. Neste ambiente industrial, onde a produção está intrinsecamente ligada à procura, a pressão competitiva encontra-se direcionada para a realização de pequenos lotes de produção, por forma a produzir apenas a quantidade necessária para satisfazer o cliente. O objetivo, para além da produção a custo mínimo, reside na redução dos prazos de entrega, no envolvimento de todos os níveis da organização, e na capacidade de resposta a possíveis alterações do mercado (agilização da produção) [6].

2.1.1. *Princípios Lean*

De acordo com [7], *James Womack* e *Daniel Jones* identificam a existência de três princípios Lean, aplicáveis a qualquer setor industrial e a todos os níveis da organização. O pensamento Lean inicia-se com o primeiro princípio Lean, a **identificação do valor**. De facto, é imprescindível conhecer o cliente e aquilo que este valoriza (para o mesmo produto, as atividades de valor acrescentado podem diferir consoante o cliente). O segundo princípio rege-se pela **eliminação dos desperdícios** existentes em toda a cadeia de valor, desde a fase inicial do desenvolvimento do produto, passando pelo *design*, até à entrega ao cliente [2]. Segundo este ideal, é considerado desperdício toda e qualquer atividade que não acrescente valor, do ponto de vista do cliente. Para garantir a eficiência na eliminação do desperdício é importante atuar sobre as suas causas raiz e não exclusivamente nas suas consequências. Por último, para a implementação de uma lógica verdadeiramente Lean, é necessário garantir a robustez da cadeia de valor, isto é, um **fluxo contínuo de valor**, tanto de processos, como de pessoas, evitando o sobrecarregamento do armazém, o *work-in-progress* e o custo associado a ambas as situações. Os autores de [8] identificam ainda outros dois princípios: a **produção puxada**

(*Pull Production*) baseada na produção desencadeada pelas necessidades do cliente, e a melhoria contínua e diária, com constante procura pela **perfeição** .

2.1.2. *Casa TPS*

A casa TPS surgiu com o intuito de descrever o sistema de produção desenvolvido pela *Toyota*. Tal como o nome indica, trata-se de uma casa e, por isso, assente em fundações, em pilares e num teto, bastando que um componente estrutural falhe para que todo o sistema fique comprometido. Um dos pilares desta filosofia é o *Jidoka*, termo nipónico idealizado por *Sakichi Toyoda* [1], que se baseia no conceito de *First Time Quality*, descrevendo o autocontrolo existente por parte dos operadores que lhes permite, mediante devida formação, parar a linha de produção a qualquer momento e rejeitar um produto não conforme (“qualidade na fonte”) com o intuito de evitar a propagação de defeitos, retrabalho e custos desnecessários associados (total eliminação dos desperdícios).

O segundo pilar desta casa, assenta na filosofia *Just-in-time* (JIT), da autoria de *Kiichiro Toyoda*, fundador da *Toyota Motor Corporation*, durante os anos 30 [1]. Esta ideia defende que só deve ser produzido o que é requerido, quando é necessário e na quantidade desejada. Defende, por isso, que a produção deve ser puxada pelo cliente com vista à redução/eliminação de *stocks* e capital associado. Todavia, importa salientar que o conceito de JIT não implica que o produto tenha que ser produzido e entregue no momento! O tempo de espera difere de cliente para cliente e consoante a sua necessidade.

No centro da casa TPS encontra-se o alvo de importância desta teoria: as pessoas. Existe um foco permanente na sua motivação, empenho, bem como, na contribuição diária que têm para a eficácia na implementação da melhoria contínua (no fundo, são o “centro das atenções”).

As fundações, caracterizam-se por 4 conceitos essenciais. O primeiro é descrito pelos japoneses com o termo *Heijunka* e diz respeito à existência de um amortecedor/nivelador que garante o equilíbrio constante e “calmo” da produção, não tendo em conta eventuais picos inconstantes de procura no mercado – a variabilidade da procura não deve, de todo, afetar a produção. Os restantes três conceitos referem a importância da gestão visual, da existência de processos estáveis e padronizados, e da consciencialização de todos da importância da filosofia inerente à *Toyota*, para o sucesso de aplicação de qualquer metodologia Lean.

O teto representa o elemento estrutural que caracteriza os objetivos de toda a filosofia: maior qualidade, serviço, segurança e motivação, menores custos e tempo despendido no processo.

2.1.3. *Conceito de Melhoria Contínua*

Ainda que a perfeição no contexto empresarial seja impossível de alcançar, o objetivo por parte de todos os colaboradores, desde a gestão de topo ao operador, deve basear-se sempre no esforço diário e contínuo em conseguir pequenos progressos, sem grandes investimentos, em termos de eficiência e do funcionamento da organização [6]. Os nipónicos utilizam o termo *Kaizen* (*Figura 1*) para descrever a cultura de melhoria contínua aplicada ao sistema de produção: este termo descreve a atitude sistemática de querer fazer melhor, com menor esforço, menor tempo despendido, menos recursos,

menos risco para os colaboradores e maior valor e fiabilidade, garantindo uma maior capacidade de valorização do mercado, através do bom senso, criatividade e empenho de todos os níveis da organização [6].

Figura 1 – Kaizen [9]

A fim de garantir a eficácia e a continuidade da aplicação desta abordagem, recorre-se frequentemente a um método iterativo denominado Ciclo de *Deming* ou PDCA. Este método proposto pela *Toyota* sustenta a famosa afirmação "*Building people before building cars*". De facto, esta cultura de uma constante procura pela resolução dos problemas está na base do desenvolvimento de um espírito mais crítico e competitivo, com subsequentes inovações por parte das organizações [10].

Este ciclo é composto por quatro ações distintas (*Figura 2*), que representam os diferentes estágios do ciclo [11]:

- Planear (*Plan*): Consiste na recolha e análise de dados para o mapeamento do estado atual. Com base nesta análise, traça-se um plano de acção com vista à melhoria do processo;
- Fazer (*Do*): Pôr em prática o plano de acção, de acordo com o definido no estágio anterior;
- Verificar (*Check*): Avaliar a implementação referida, isto é, se os resultados da implementação contribuíram para a melhoria do processo;
- Ajustar (*Act*): O último passo consiste numa tomada de decisão. Se, de facto, os resultados forem ao encontro da melhoria pretendida, é necessário standardizar e estabilizar esta solução, replicando-a para outras áreas da organização. Caso os resultados não sejam os esperados, é perentório reiniciar o ciclo.

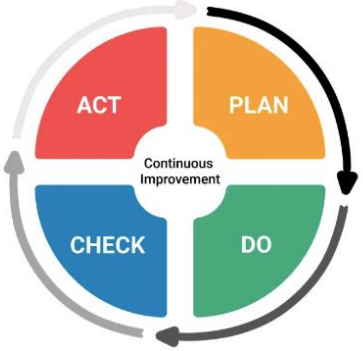


Figura 2 - Lógica de implementação do ciclo PDCA [11]

Para garantir que toda a aprendizagem permaneça enraizada na cultura da empresa, importa que as melhorias implementadas sejam padronizadas (*Figura 3*). Esta ideia está presente na lógica do ciclo SDCA, cuja linha de raciocínio é semelhante ao ciclo PDCA, mas cujo objetivo se encontra na standardização do processo e não no planeamento com vista à sua melhoria. A maioria dos autores defende que a abordagem SDCA deve ser implementada antes e depois da implementação do ciclo PDCA. Primeiramente, considera-se importante visto que a estabilidade dos processos auxilia na implementação de possíveis melhorias. Posteriormente, é importante para garantir que todas as melhorias são devidamente padronizadas e utilizadas por todos os colaboradores da empresa [12].

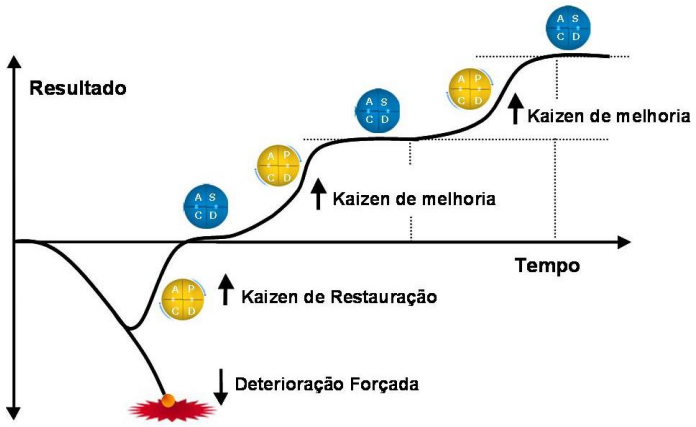


Figura 3 - Ciclo PDCA e SDCA integrados numa lógica de melhoria contínua [13]

Assim, as quatro fases do ciclo SDCA apresentam o seguinte significado [12]:

- Standardização (*Standardize*): consiste na padronização dos processos ou das melhorias implementadas para possibilitar que todos os colaboradores executem as tarefas da mesma forma. Nesta frase são criados procedimentos e toda a documentação necessária para que as melhorias implementadas sejam realizadas de uma forma eficiente;
- Fazer (*Do*): trata-se da execução dos processos standardizados por todos os envolvidos, que terão de ser devidamente treinados e orientados para o efeito;
- Verificar (*Check*): tal como no ciclo PDCA, o objetivo desta fase reside na verificação do cumprimento dos padrões implementados, com posterior avaliação dos resultados;
- Agir (*Act*): caso seja necessário, seja por resistência por parte do operador, ou pelo facto de os resultados não irem ao encontro das metas estabelecidas, realizar ajustes pontuais ao novo método e reiniciar o ciclo.

2.1.4. *Tipos de Desperdício*

A redução de desperdícios tornou-se uma das maiores preocupações de qualquer ambiente Lean [14]. O TPS evidencia a existência de três categorias (“os três M’s”) associadas ao próprio desperdício ou a práticas que estão na sua origem [15]:

- **Mura:** ritmo de trabalho irregular e distribuição de tarefas desigual entre postos de trabalho, com momentos de sobrecarga e outros de subcarga, resultantes de um mau planeamento (conduzido pelo sistema de produção e não pela procura do cliente);
- **Muri:** traduz a sobrecarga de equipamentos e/ou de operadores, exigindo mais esforço físico por parte dos trabalhadores, durante longos períodos de tempo;
- **Muda:** qualquer atividade sem valor acrescentado para o cliente, tratando-se por isso, do desperdício *per si*.

Taichi Ohno propõe a existência de 7 tipos de desperdício (Muda), muito recorrentes num sistema de produção em massa, que contribuem para o aumento dos custos e do tempo total de produção [2]:

- **Transporte**: movimentos excessivos de peças ou matéria-prima de um local para outro. O facto de o produto não estar a ser processado enquanto se encontra em movimento, para além de não acrescentar valor ao produto face àquilo que o cliente deseja, também contribui para o aumento da probabilidade de ocorrência de danos, atrasos e eventuais perdas de material [16];
- **Inventário**: *stock* excessivo de matéria-prima, de produtos finalizados e de *work-in-progress*, que leva à sobrelotação do armazém e à consequente retenção de capital (custos de armazenamento, embalamento e de transporte associados) [17]. Processos mal planeados, conjugados com uma má comunicação com os fornecedores, geram previsões pouco fiáveis conduzindo a níveis de inventário muito elevados [14];
- **Movimentação**: movimentos desnecessários e frequentes dos operadores e de máquinas, entre estações de trabalho, resultante de um *layout* e/ou planeamento desadequados (enquanto se encontram nestas deslocações, não estão a contribuir para valorizar o produto);
- **Esperas**: corresponde ao tempo em que o produto está à espera de ser processado, sem qualquer valor acrescentado, resultado da falta de matéria-prima, de produto, de avarias inesperadas das máquinas, e, em última análise, da falta do próprio operador devido a uma má gestão do planeamento. De facto, o tempo em que o operador está alocado a um determinado processo é, geralmente, superior à sua duração o que conduz a atrasos nas produções seguintes [14]. Dado que as esperas não valorizam o produto, têm um impacto direto nos custos suportados pela empresa e não pelo cliente [17] e contribuem para o aumento do tempo total de produção [18]. Este tipo de desperdício compromete o sucesso de um dos princípios da filosofia Lean, o fluxo contínuo de valor;
- **Sobreprocessamento**: operações realizadas que não valorizam o produto, na medida em que vão para além do que é requerido pelo cliente, acarretando custos e tempo desnecessários;
- **Sobreprodução**: produção à luz do paradigma da produção em massa, isto é, sem ter em consideração a procura (mais cedo ou mais rápido do que é suposto) [14] ou em quantidade superior à desejada pelo cliente, com consequente ocupação desnecessária do armazém e aumento dos custos associados;
- **Defeitos**: produtos que não correspondem ao requerido pelo cliente, devido a erros de desenvolvimento do produto, de *design*, ou de maquinação [19], que requerem trabalho

adicional como inspeções, alterações ao nível do *design* do produto e do processo, ou ainda, retrabalho [14].

Mais tarde, surgiu um novo tipo de desperdício, o **Talento**, que diz respeito à desvalorização das capacidades cognitivas e criativas de todos os elementos da organização, nas decisões da empresa [20] [19].

Importa salientar que os três fatores que influenciam de forma negativa o desempenho do sistema de produção, Mura, Muri e Muda, estão intimamente relacionados pelo que se condicionam fortemente. Assim, a atuação sobre um deles, pode conduzir à eliminação ou ao surgimento dos outros [15].

2.2. Ferramentas Lean Tradicionais

Na literatura encontram-se descritas inúmeras ferramentas Lean que, apesar de por si só, em determinadas situações, não serem suficientes, conduzem ao sucesso da implementação desta filosofia. Nesta dissertação, serão somente abordadas as ferramentas relacionadas com os problemas identificados no caso de estudo.

2.2.1. *5S*

O conceito subjacente ao método dos 5S é a certeza de que apenas num ambiente de trabalho limpo, organizado e seguro é possível desenvolver sustentadamente um trabalho eficaz, mais produtivo, sem desperdícios, percecionando um potencial contínuo de melhoria [6].

Caracteriza-se pelos seguintes constituintes [21]:

Seiri (organização/seleção): trata-se do primeiro passo desta metodologia e consiste em retirar da estação de trabalho tudo o que não é necessário ao processo. Os componentes cuja utilização é raramente requerida, devem ser transferidos para uma zona relativamente afastada do local de trabalho. Estas ações permitem um maior foco do operador nas suas tarefas;

Seiton (ordenação/arrumação): mecanismos de organização que permitem a rápida identificação das ferramentas durante o processo, através de código de cores, etiquetas, marcações no chão de fábrica e locais próprios e adaptados a cada tipo de ferramenta (*Figura 4*);

Figura 4 - Exemplo de um shadow board [22]

Seiso (limpeza): foca-se nas atividades de limpeza do local de trabalho, que contribuem para o aumento da motivação e satisfação dos operadores. É recomendável incutir no operador um sentido de responsabilidade para que mantenha o seu espaço limpo e arrumado;

Seiketsu (padronização): todos os níveis da organização devem contribuir para o estabelecimento de procedimentos simples e respetiva standardização. Devem ser realizadas auditorias e atribuídas as respetivas classificações, de modo a garantir a eficiência desta fase;

Shitsuke (auto-disciplina): considerado o "S" mais complicado de implementar dado que consiste em manter os quatro referidos anteriormente. Para o conseguir, é necessário consciencializar toda a organização para uma autodisciplina diária no cumprimento das melhorias implementadas. Sugere-se a atribuição de prémios, sejam monetários ou na forma de certificados, com o intuito de valorizar o esforço de todos os operadores, aumentando a sua motivação.

Este método é frequentemente utilizado num outro método de redução do tempo de *setup* (tempo não produtivo, durante o qual a máquina está parada e se dá a preparação e substituição de ferramentas necessárias ao processo seguinte) denominado de SMED – *Single Minute Exchange of Die* [6].

2.2.2. *5-Whys*

Um dos grandes contributos para o sucesso da filosofia Lean surgiu com a constante procura pelas causas raiz dos problemas e não unicamente pelo seu método de resolução. De facto, já na *Toyota Motor Corporation*, *Taiichi Ohno* tinha como prática questionar cinco vezes "porquê?" sempre que surgia um problema [2]. Esta iniciativa deu origem a uma das ferramentas Lean mais utilizadas denominada *5-Whys*. Esta técnica deve ser utilizada por uma equipa previamente definida pela organização, tendo por base o seguinte raciocínio: numa primeira fase, identificar claramente o problema que se pretende resolver, de seguida, perguntar o "porquê?", com o intuito de encontrar o primeiro nível de causa para a ocorrência do problema em estudo, e assim sucessivamente, até se chegar a uma causa à qual não se consiga atribuir uma razão para a sua ocorrência – a causa raiz. É, então, nesse último nível de causa que a equipa terá de agir em conformidade [16].

2.2.3. *Diagrama de Spaghetti*

O Diagrama de *Spaghetti* baseia-se em linhas contínuas que refletem a movimentação do operador ou de materiais durante todo o processo. A sua representação visual permite facilmente identificar redundâncias, isto é, tarefas que não acrescentem valor ao produto final, segundo a perspetiva do cliente, e possíveis melhorias com vista ao aumento da eficiência do processo [23].

2.2.4. *Gráfico Yamazumi*

O Gráfico *Yamazumi* é utilizado para descrever as várias atividades que compõem um processo. Geralmente, o eixo das ordenadas representa o tempo de ciclo e o das abcissas o conjunto de atividades realizadas por processo (*Figura 5*). O termo nipónico *Yamazumi* significa *stack up*, isto é,

empilhamento. Assim, cada barra do gráfico contém uma série de atividades sobrepostas, que são categorizadas do seguinte modo [24]:

- Valor acrescentado;
- Valor não acrescentado;
- Desperdício, embora necessário (nesta dissertação considerado como uma tarefa melhorável).

A percentagem ou a duração de cada tipo de atividade vem, geralmente, indicada no troço da barra correspondente. Este tipo de gráfico é utilizado para, de uma forma visual, identificar rapidamente o impacto das tarefas de valor não acrescentado e/ou melhoráveis.

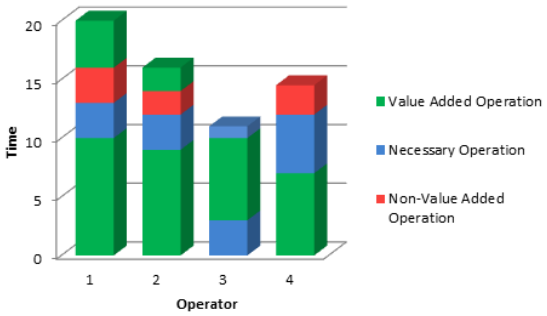


Figura 5 - Exemplo ilustrativo de um Gráfico Yamazumi [24]

2.2.5. *Poka-yoke*

O *Poka-yoke* é uma técnica utilizada para evitar a ocorrência de falhas humanas e, consecutivamente, de defeitos de fabrico. Através de sinalizações visuais ou sonoras, o operador é alertado para a existência de uma anomalia, podendo atuar, de imediato, em conformidade (*Figura 6*). Assim, a aplicação direta destes sinais ou dispositivos simples na origem dos problemas (habitualmente designada “na fonte”), tem um impacto significativo no aumento da eficiência do posto de trabalho, ao tornar possível uma produção com zero defeitos associados, reduzindo a necessidade de uma inspeção após fabrico [6].

Figura 6 - Exemplo ilustrativo de um Poka-yoke [25]

Assim, com a mentalidade de melhoria contínua sempre presente e adotada por todos os níveis da organização e com o recurso a estas ferramentas Lean tradicionais, é possível resolver eventuais anomalias existentes na cadeia de valor, bem como evitar que estas aconteçam, sempre com o objetivo de minimizar os custos e o tempo despendido, num ambiente que estimule à participação e intervenção de todos os operadores.

2.3. Indústria 4.0 – A Quarta Revolução Industrial

A primeira revolução industrial inicia-se na segunda metade do século XVIII e é fortemente marcada pelo aparecimento da máquina a vapor. A segunda revolução dá-se por volta de 1870 com a descoberta da eletricidade e com a distribuição do trabalho em diversas operações com vista à especialização direcionada (Taylorismo). A terceira corresponde à introdução de conhecimentos de eletrónica aliada às tecnologias de informação, tornando-se conhecida, por isso, como a "revolução digital" [26].

Segundo a literatura, a Indústria 4.0 (I4.0) representa a transição de um paradigma de uma produção centralizada para a sua descentralização, através da comunicação entre objetos, pessoas, máquinas e recursos. A quarta revolução despertou a curiosidade por parte da comunidade científica pelo facto de, pela primeira vez, ter sido possível prever a existência de uma nova revolução industrial, antes de se ter observado o seu impacto na indústria. Por outro lado, veio revelar-se como o ponto de partida para o desenvolvimento de novos modelos de negócio aliados à estratégia de cada empresa, de novos serviços e produtos customizados e até personalizados mas produzidos de forma repetitiva e/ou em massa [26].

O conceito de I4.0 é anunciado, pela primeira vez, em Hannover Messe, em 2011, como a solução para o aumento da competitividade industrial [27]. A ideia de uma indústria totalmente interconectada e inteligente despertou de imediato o interesse por parte do setor industrial [28]. No entanto, só em 2013 é que surgem as primeiras recomendações para o sucesso da implementação da I4.0, numa publicação feita pelo mesmo grupo responsável pelo desenvolvimento do conceito em causa, "*Industrie 4.0 Working Group*". Nessa publicação surgem três pilares inerentes a esta revolução: *Internet of Things* (IoT), *Cyber Physical Systems* (CPS) e *Smart Factories* [26].

A "Internet das coisas" surge como um dos principais impulsionadores para a I4.0 ao permitir a interação e a cooperação entre todos os objetos pertencentes à *smart factory*, com o intuito de alcançar objetivos comuns. No fundo, permite a conexão entre todos os operadores e facilita a comunicação com os clientes [26].

Associado ao conceito de IoT, surge o conceito de CPS que, através de um conjunto de microcontroladores e atuadores, de programas de *modeling* e de *softwares* de gestão (componente digital do CPS) permitem a identificação única de cada componente (com recurso a *tags*), o armazenamento e o processamento de dados. Estes sistemas focam-se na partilha de informação entre as várias entidades que compõem um sistema, no controlo do sistema de produção e em facilitar a integração destes sistemas no ambiente industrial [29].

Através da utilização de CPS estimam-se resultados mais dinâmicos, com a obtenção de dados otimizada em tempo real, sistemas de produção "*self-organized*" e conectados entre si [30]. A automação com recurso a CPS permite que as máquinas sejam inteligentes e que consigam, sozinhas, distinguir entre uma operação normal e uma não conforme. Assim, a máquina terá a capacidade de parar o processo caso detete autonomamente a presença de um problema. Para além da deteção das não conformidades, são capazes de analisar as causas raiz dos problemas e de tomar medidas no

momento, evitando a propagação dos defeitos e evitando, por isso, a produção de produtos defeituosos [28].

A junção destes dois conceitos, IoT e CPS, permite que toda a unidade fabril se torne inteligente (*Smart Factory*), globalmente interligada, capaz de otimizar processos em tempo real, com produtos *smart*, com capacidade para conhecerem o seu histórico, o estado atual e o objetivo pretendido, bem como de negociar e transmitir as instruções necessárias ao seu processamento a máquinas inteligentes, sempre com a supervisão e o controlo de operadores, igualmente, inteligentes [31].

2.3.1. *Indústria 4.0 – Design Principles*

O termo Indústria 4.0 tornou-se um dos conceitos mais discutidos tanto a nível académico como industrial. Por se tratar de um assunto frequentemente abordado, existem diversas definições na literatura para o conceito em causa [26]. Estudos recentes comprovam que existem na literatura mais de cem definições para o conceito de I4.0 [28]. Para além da divergência existente na sua definição, também muitos autores defendem opiniões diferentes face aos componentes que a constituem, a relação entre eles e o contexto em que a I4.0 deve ser aplicada. De acordo com os autores de [28], a Indústria 4.0 pode ser descrita pela utilização de produtos inteligentes que permitem a recolha e análise automática de dados, bem como a interação entre produtos, processos, fornecedores e clientes através da Internet. Já os autores de [32] sugerem também uma definição para a I4.0: termo coletivo que engloba todos os conceitos e tecnologias para a organização da cadeia de valor. Com uma estrutura modular adequada a uma fábrica inteligente, a monitorização do processo físico pelos CPS permite criar uma cópia virtual do mundo físico e descentralizar a tomada de decisões.

Tratando-se, então, de um conceito emergente e ainda não normalizado, torna-se complicado, do ponto de vista empresarial, compreender e implementar cenários provenientes desta revolução industrial [21]. Assim, surge a necessidade de definir princípios que estruturem este conceito, os seus componentes, e a sua aplicabilidade [26]. A estes princípios, de acordo com a literatura, dá-se o nome de *design principles* [33].

Numa publicação que teve por base uma extensa revisão bibliográfica, os autores de [32] identificam seis *design principles* para a posterior implementação da I4.0: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capabilidade em tempo real, serviço orientado e modularidade (*Figura 7*).

	Cyber-Physical Systems	Internet of Things	Internet of Services	Smart Factory
Interoperability	X	X	X	X
Virtualization	X	-	-	X
Decentralization	X	-	-	X
Real-Time Capability	-	-	-	X
Service Orientation	-	-	X	-
Modularity	-	-	X	-

Figura 7 - Design principles associados aos componentes da I4.0 [32]

Optou-se nesta dissertação por não descrever estes princípios uma vez que, um ano depois, os mesmos autores de [26] consolidaram estes conceitos em apenas quatro *design principles* que devem

ser tidos em conta pelas empresas aquando da implementação de tecnologias associadas à I4.0. Os autores basearam esta nova lógica num caso de estudo realizado para a escolha destes princípios, com colaboradores de nove áreas distintas e provenientes de diferentes empresas, com o intuito de priorizar nove tópicos respeitantes da I4.0 (interconectividade, colaboração, *standards*, segurança, análise de dados, fornecimento da informação, decisões centralizadas, assistência física e assistência virtual) do ponto de vista de cada um. De seguida, foram apresentadas as justificações de cada participante e foi requerido que chegassem a um acordo. O resultado foi documentado e, posteriormente, validado. Surgem, assim, os quatro *design principles* para o sucesso da implementação da I4.0:

- **Interconectividade**: interação entre máquinas, sensores e pessoas, com base na ideia de IoT e IoP (*Internet of People*) dando origem ao conceito de IoE – *Internet of Everything*. Existem três tipos de colaboração à luz deste conceito: interação humano-humano, humano-máquina e máquina-máquina. Esta forte ligação entre todos os componentes permite o aparecimento de estações de trabalho modelares que rapidamente respondem a flutuações de mercado e a lotes com quantidades reduzidas, ou até mesmo individuais. Devido ao elevado número de participantes envolvidos, aos elevados valores monetários e à quantidade exorbitante de dados em estudo, torna-se inevitável o aparecimento da ciber-segurança [34]. Assim, é possível reproduzir uma cópia virtual do mundo físico/real [35];
- **Transparência na informação**: com o intuito de garantir a transparência de todo o fluxo de informação, os dados são processados assim que são obtidos em tempo real. O resultado do seu processamento deve conter sistemas de assistência embutidos, com acesso direto por parte de todos os elementos dos níveis de organização existentes [26], bem como por todos os parceiros constituintes da cadeia de valor (integração horizontal) [35];
- **Decisões descentralizadas**: o aumento da procura por produtos individualizados, torna insuportável a centralização de todo o planeamento e controlo de tomadas de decisão do sistema. Assim, todos os elementos da organização têm o direito de tomar decisões autonomamente, relativas às atividades que estão a desenvolver. Os próprios CPS são embutidos de atuadores que permitem tomadas de decisão [32]. Só em casos extremos, que envolvam conflitos ou falhas, é que devem ser redirecionados para os níveis hierarquicamente mais elevados da organização [36];
- **Assistência técnica**: os operadores devem ser munidos de assistência técnica permanente, que permita a visualização de toda a informação necessária, de modo a garantir uma tomada de decisão consciencializada por parte do utilizador. Atualmente, os *tablets* e os *smartphones* são os aparelhos que melhor desempenham esta função. É, igualmente, necessário garantir que a colaboração humano-máquina é continuamente consolidada [26].

A utilização destes quatro princípios permite identificar e descrever os possíveis cenários de implementação de tecnologias de I4.0 e a melhor forma de os executar, auxiliar na identificação de potenciais de melhoria resultantes da sua aplicação e, simultaneamente, ajudar a clarificar o próprio conceito [26].

2.3.2. *Integração e arquitetura dos componentes da I4.0*

Dado que os CPS são o principal meio para a existência de interfaces de comunicação, os autores de [37] propuseram um modelo denominado *5C Architecture Model*, cujo nome se deve ao facto de a sua estrutura se basear em 5 níveis/*guidelines*, para o seu desenvolvimento e implementação (*Figura 8*).

Figura 8 - Modelo 5C - Arquitetura de CPS [38]

A base da pirâmide, correspondente ao nível 1 (*Figura 8*), considera a aquisição em tempo real de dados fidedignos diretamente das máquinas existentes nas estações de trabalho. A segunda camada corresponde ao processamento destes dados, isto é, à sua conversão em informação útil para análise, através de algoritmos e ferramentas apropriadas para o efeito. Já o nível 3, corresponde à informação proveniente de toda a fábrica, as máquinas passam a ter a capacidade de estabelecerem comparação entre o estado atual, o seu histórico de informação e o estado das restantes máquinas da rede. A quarta camada diz respeito à análise de toda a informação obtida e à forma como esta é representada, nomeadamente, através de esquemas visuais, facilmente acessíveis por toda a organização, seja *in loco* ou remotamente, facilitando as tomadas de decisão ou a realização de diagnósticos. No topo da pirâmide encontra-se o nível de configuração, responsável por providenciar *feedback* às máquinas, proporcionando o auto ajuste, a auto otimização e a auto configuração das mesmas [38].

Mais tarde, em 2017, o autor de [39] propôs o Modelo 8C onde para além da referência às máquinas inteligentes, promove ainda a integração na rede, dos fornecedores e dos clientes, fomentando aquilo a que se chama integração horizontal (*Figura 9*).

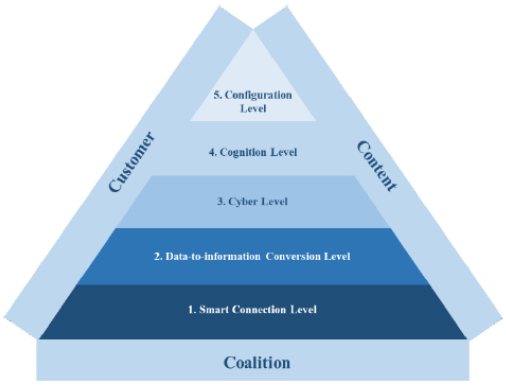


Figura 9 - Modelo 8C - Arquitetura de CPS [38]

Os três níveis acrescentados representam a valorização de todas as partes integrantes da cadeia de valor (*Coalition*), o foco na importância do fabrico de produtos customizados com vista a satisfazer a necessidade do cliente (*Customer*) e o tratamento de informação relativa aos fornecedores, ao armazém e às entregas ao cliente (*Content*) [39].

Para que a implementação anteriormente referida tenha sucesso, é necessário estabelecer uma ligação entre o mundo físico e o virtual. Esta conexão é assegurada por interfaces de comunicação que contribuem para o aumento do nível de automação e versatilidade [40]. A esse tipo de interfaces dá-se o nome de GUI, *Graphical User Interface*, através da qual o utilizador consegue interagir com a estação de trabalho. Dispõe de uma série de informações úteis ao processo através de um *display* visual (*Figura 10*). Os próprios CPS providenciam os dados necessários atualizados automaticamente e podem ainda, através dos atuadores conectados, controlar o próprio processo de produção [41].

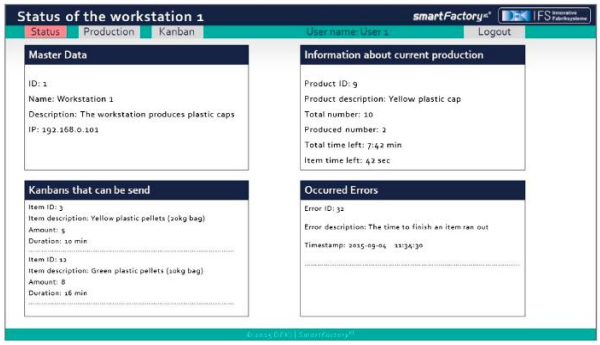


Figura 10 - Exemplo de uma interface gráfica [42]

2.4. Lean, Melhoria Contínua e Indústria 4.0

Diversos autores refletem a relação existente entre a I4.0, os sistemas de produção Lean, e a melhoria contínua. Um dos aspetos referidos é que a implementação da I4.0 facilita a deteção de situações atípicas e a resolução dos respetivos problemas, através de melhoria contínua, com o intuito de reduzir todas as atividades sem valor acrescentado (desperdício), promovendo um fluxo contínuo do sistema de produção [30]. Afirmam, ainda, que a quarta revolução industrial é o mote para a comunicação entre todas as entidades que formam a cadeia de valor, desde os operadores até à gestão de topo [43], e que permite o planeamento da produção em tempo real, otimizando simultaneamente todo o sistema. O processo de produção pode, também, ser positivamente influenciado pela simulação virtual do inventário, da logística, do transporte e do histórico de cada produto [44].

Vários autores afirmam que para o sucesso da I4.0, convém que as empresas que já tenham uma filosofia Lean implementada, sejam orientadas para a introdução do conceito de indústria 4.0 no seu sistema, e para os respetivos desafios que esta decisão acarreta. Esta orientação permite à empresa tomar conhecimento do cerne da questão e, por isso, facilitar a compreensão das oportunidades que provêm da digitalização e da Indústria 4.0, por forma a tornarem o sistema de produção Lean mais eficiente [30].

Os princípios da Produção Lean revelaram-se um sucesso durante a década de 90, estando atualmente integrados em diversos tipos de indústria, devido à elevada eficácia na redução da complexidade do processo e no foco somente nas atividades com valor acrescentado [41].

No entanto, alguns autores afirmam que a aplicação de Lean, na sua forma tradicional, poderá não dar resposta à crescente exigência na procura, aos reduzidos tempos de ciclo requeridos, e à necessidade de produtos customizados, isto é, cada vez mais direcionados para cada tipo de cliente [41]. De facto, a personalização da produção é a chave para o sucesso num mundo cada vez mais digital e direcionado para a globalização [45].

Por outro lado, muitas empresas enfrentam enormes dificuldades em manter as melhorias implementadas com a metodologia Lean e outras ainda consideram que esta filosofia não satisfaz diversos requisitos operacionais de muitas empresas industriais [28]. Para além disso, esta filosofia não utiliza o enorme potencial proveniente das tecnologias de informação e comunicação. Assim, existem várias publicações recentes que apontam para a necessidade de retirar o melhor dos dois mundos, isto é, de aplicar as características da Indústria 4.0 aos métodos tradicionais da Produção Lean [41].

Com a introdução destas tecnologias, é importante que todos os níveis da organização tenham consciência que o papel humano não deixa de ser extremamente importante para o sucesso desta implementação. Segundo *James Womack* [46], qualquer melhoria implementada tende a falhar se os trabalhadores começarem a sentir que estão em risco de perder os seus postos de trabalho. É de notar que, com o aparecimento da automação, as qualificações exigidas se tornem muito diferentes do trabalho standardizado que outrora existia, isto é, que a complexidade das operações tenda a aumentar.

Apesar do forte potencial de ligação entre os dois conceitos, ainda não é suficientemente clara na literatura, a resposta para as seguintes questões: como é que a Produção Lean e a I4.0 se podem complementar e de que forma é que as ferramentas da I4.0 podem ser úteis para melhorar os métodos Lean [45]. Tal como referido no início deste tópico, embora não exista nenhum estudo intensivo que valide e comprove esta ideia, muitos autores na literatura consideram a implementação Lean como um pré-requisito para o sucesso das tecnologias adjacentes à Indústria 4.0, ou seja, que é necessário um *background* previamente standardizado, transparente, eficiente, pouco complexo (modular) e que se foque nas atividades com valor para o cliente e na eliminação do desperdício. Inclusivamente, *Bill Gates* afirma que automatizar um sistema ineficiente só irá aumentar as suas ineficiências [45]: "*The first rule of any technology used in a business is that automation applied to an efficient operation will magnify the efficiency. The second is that automation applied to an ineficient operation will magnify the inefficiency*" [28]. Outros consideram que são as ferramentas da I4.0 as promotoras de uma Produção Lean, que permitem estabilizá-la, flexibilizá-la e refiná-la [48], tornando-a mais transparente ao melhorar a qualidade da informação em tempo real [45]. Um terceiro ponto de vista afirma que a coexistência dos dois conceitos resulta numa sinergia muito positiva [49] para um sistema de produção, cuja evolução não tem de ser necessariamente sequencial. Para esta sinergia contribui o facto de ambos os paradigmas apresentarem inúmeras semelhanças quanto aos seus objetivos, como o foco na descentralização das tomadas de decisão, na redução da complexidade, na redução do desperdício e na criação de valor, e os princípios Lean como base/fundações para as suas teorias (ver *Figura 11*).

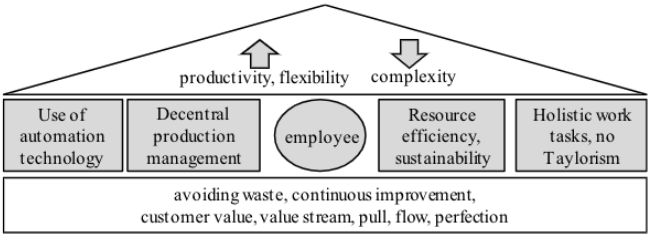


Figura 11 – Combinação entre o Lean e a I4.0 [45]

2.4.1. *A Digitalização no contexto da I4.0*

Com o aumento da complexidade e da quantidade de dados adquiridos associados aos sistemas de produção, é importante saber filtrar a informação relevante, bem como saber convertê-la e utilizá-la [50]. De facto, a obtenção de grandes quantidades de dados, não significa necessariamente que a informação retirada seja de qualidade – "*The belief that more data or information automatically leads to better decisions is probably one of the most unfortunate mistakes of the information society"* [51]. Assim, o problema nos sistemas de produção atuais não é a falta de informação, mas sim a dificuldade em selecionar qual e quando é que esta é necessária [50]. Surge, então, o conceito de digitalização, como um conceito representativo de um novo nível organizacional, capaz de filtrar e gerir toda a informação importante através da utilização de tecnologias digitais [8], partilhando-a de forma atrativa e explícita, por todos os colaboradores, com consequente redução do tempo despendido nestas análises e aumento da frequência de *updates* do estado do processo [50].

A digitalização da produção, à luz da indústria 4.0, promete novas oportunidades para o desenvolvimento de linhas de produção mais eficientes e versáteis, capazes de reagir às necessidades atuais do mercado, desde a individualização de produtos, à redução dos tempos de fabrico e respetivos custos de processamento [8].O sistema de produção pode ser otimizado com recurso a ferramentas computacionais que simplifiquem a forma como a informação é utilizada e, posteriormente, disponibilizada [30]. O autor de [52] afirma que a digitalização de um processo permite ter a noção clara do desperdício que é gerado, tanto ao nível do fluxo de informação como do de organização. No entanto, para o sucesso da digitalização é essencial conhecer e dominar todos os aspetos que englobam o processo [35]. De facto, qualquer digitalização deve garantir que o desperdício é reduzido de uma forma mais eficiente que o método Lean tradicional. Assim, um dos principais desafios é compreender quais os campos onde a digitalização poderá desempenhar um papel crucial, sem a criação de novos desperdícios associados [53].

Relativamente à sua nomenclatura, há autores que utilizam o termo digitalização e digitização como tendo o mesmo significado. Porém, os autores de [54] distinguem os dois conceitos consoante a fase em análise: na conversão dos dados obtidos, de analógico para digital, utiliza-se o termo digitização, enquanto que na automatização dos processos se recorre ao uso da palavra digitalização. Segundo esta nomenclatura, a fase da digitização antecede a digitalização. Ora, no âmbito desta dissertação, visto focar-se na automatização da standardização de processos e procedimentos, estamos perante uma situação de digitalização.

2.4.2. *O Lean e a Digitalização*

Os autores de [53] e [55] afirmam que a lógica inerente à digitalização só deve ser implementada quando o nível de maturidade da empresa em Lean já é suficientemente elevado, no entanto, os autores de [8] defendem que o sucesso da implementação da digitalização pode conduzir a níveis de maturidade em Lean superiores, que permitem sustentar e estabilizar os princípios desta filosofia [45] e [48]. Há, ainda, autores que defendem a complementaridade dos dois conceitos, visto que a I4.0 potencia o aumento da maturidade Lean das empresas, e, simultaneamente, o Lean revela-se como um requisito para uma implementação sustentável destas tecnologias de comunicação e informação [55].

De facto, o sistema de produção Lean é baseado numa aprendizagem e melhoria contínuas, baseadas em valores e na qualificação de todos os trabalhadores para que possam fazer parte desta mudança [53]. Assenta, também, no sincronismo e na standardização dos processos, no entanto, a flexibilidade existente atualmente, não é suficiente para responder às necessidades individuais de cada cliente, associadas a produtos de elevada qualidade e baixo custo de produção, resultando, assim, num aumento da complexidade dos sistemas produtivos. Tal como é visível na *Figura 12*, a digitalização surge como solução para este problema, ao possuir tecnologias de sistemas de comunicação e informação, capazes de responder imediatamente às alterações e aos requisitos desafiantes impostos pelo mercado, e permitindo a produção de lotes de baixa quantidade ou, idealmente, individuais (*batch size one*) [8].

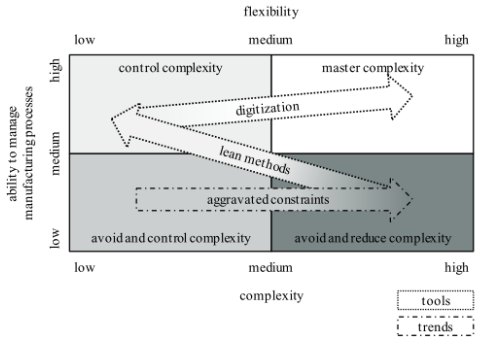


Figura 12 - Impacto da utilização de métodos Lean e da digitalização consoante o nível de complexidade [8]

Assim, apesar de à partida os conceitos de Lean *Manufacturing* e de Digitalização parecerem totalmente distintos, apresentam aspetos cruciais em comum, nomeadamente, o aumento da produtividade e da eficiência da empresa [56]. Segundo os autores de [8], [55], [57] e [58], a junção dos dois conceitos auxilia as empresas na resolução de problemas que enfrentam no seu quotidiano, desde o nível elevado de exigência dos clientes, à flexibilidade necessária inerente aos seus pedidos. Conclui-se, então, que a digitalização aliada à I4.0 não aparece como substituta do Lean, mas oferece, sim, oportunidades para elevar um sistema Lean ao nível seguinte de excelência [53].

Apesar da digitalização ser vista como um bom método de responder às crescentes exigências de um mercado cada vez mais competitivo, para as pequenas e médias empresas (PMEs) existe uma certa relutância e ceticismo quanto à aplicabilidade e futuro da digitalização, prendendo-se com a questão

de como é que se torna possível provar que o investimento nestas tecnologias pode trazer benefícios e propiciar o seu crescimento e competitividade [8]. Para auxiliar esta categoria de empresas nesta adaptação, é importante que sejam fornecidas metodologias e suporte na implementação destas tecnologias associadas à digitalização, de modo a garantir que as PMEs compreendem o seu conceito e o respetivo potencial [59] [60] e [61]. Depois de compreendido o conceito e a sua importância, recomenda-se que definam um ponto de partida, com base nos recursos disponíveis, e um rumo a seguir com vista à sua implementação [8].

Assim, a digitalização aparece como um forte complemento ao Lean, ao conseguir lidar com o aumento da complexidade dos processos, visível na atual realidade industrial, aumentando, tal como já referido, a rapidez e a flexibilidade na resposta às necessidades do cliente, através de uma comunicação mais dinâmica, com consecutivo aumento de produtividade, eficiência, otimização de custos e de recursos [8] e [62].

De seguida, na *Tabela 1*, apresenta-se um quadro resumo com diversas vantagens e desvantagens da implementação deste conceito:

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens da utilização de tecnologias de digitalização [8], [50] *e* [63]

Vantagens	**Desvantagens**
Aquisição automática de dados, em tempo real (aumento da transparência na informação)	Fiabilidade dos dados obtidos não é 100%
Diferentes modos de análise de dados	Excesso de dados extraídos conduz a um excesso de KPI (*Key Process Indicator*)
Aumento o envolvimento de todos os trabalhadores	Dificuldade na adaptação a este tipo de tecnologias por parte dos trabalhadores (resistência à mudança)
Facilitar as tomadas de decisão	Má interpretação dos dados obtidos pode provocar falhas na compreensão do processo
Aumento da flexibilidade	Custos de implementação elevados
Satisfação das necessidades individuais do cliente, com diminuição do *time to market* e do *throughput time*	Risco das estratégias utilizadas se tornarem rapidamente desatualizadas devido ao

	desenvolvimento muito rápido de novas tecnologias
Aumento da produtividade e eficiência dos recursos utilizados	Falta de trabalhadores com níveis de conhecimento e de *skill* adequados para o uso deste tipo de tecnologias
Aumento da competitividade da empresa face ao mercado existente	Riscos de falta de cíber segurança devido ao uso destas tecnologias
Aumento do valor acrescentado com a introdução de novos serviços	Falta de compromisso e envolvência inicial por parte da gestão de topo

É recomendável que as empresas tenham consciência da existência de todas estas desvantagens e que se foquem na procura de meios para as colmatar, garantindo o sucesso na implementação de tecnologias digitais e a sua continuidade na mentalidade e no quotidiano de todos os colaboradores.

2.4.3. *Dashboard – Ferramenta de apoio à digitalização*

O *dashboard*, entendido como uma interface gráfica com um ecrã único digital, destina-se à monitorização, visualização, e rápida compreensão da unidade fabril ou de uma determinada linha de produção, através de indicadores de *performance* do processo, permitindo a passagem de informação em tempo real por todos os níveis hierárquicos da empresa, desde o chão de fábrica à gestão de topo, propiciando um sistema de produção mais eficiente e ágil. Com a substituição de ficheiros de *Excel* pela digitalização no controlo dos processos, a utilização de *dashboards* tem-se tornado gradualmente mais regular. A filosofia Lean também favorece a sua utilização ao recorrer frequentemente à visualização do panorama geral da fábrica. No entanto, a sua instalação é, regra geral, morosa, levando várias semanas até à totalidade da sua implementação e torna-se mais complicada caso não exista um *software* de controlo e monitorização dos processos como o ERP (*Enterprise Resource Planning*) ou o MES – *Manufacturing Execution System* –, ou um sistema de armazenamento de dados referentes ao fabrico, previamente implementado [64].

Pela literatura é possível concluir que não é clara a informação que um *dashboard* deve conter. De facto, cada tipo de utilizador necessita de KPIs (*Key Performance Indicators*) customizados para efetuar a análise que pretende, que diferem consoante a empresa e respetiva hierarquia. De facto, para além dos diferentes indicadores de desempenho, também o próprio *design* do *dashboard* difere consoante o nível hierárquico em questão. Assim, os *dashboards* dividem-se em operacionais para os trabalhadores, táticos para os gestores, e estratégicos para os executivos. Um *dashboard* operacional, destinado aos operadores no chão de fábrica, deve conter dados respeitantes a um período de tempo

compreendido entre um minuto e uma hora, onde deve ser possível visualizar, de imediato e em tempo real, o *status* das máquinas em uso e a eficiência no chão de fábrica. Já o *dashboard* tático utilizado geralmente pelos gestores de projeto e analistas, contém informações respeitantes a um período de tempo mais prolongado, normalmente de 1 dia a 1 semana, com indicadores mais gerais do processo, tais como, o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) das máquinas mais importantes, reclamações, eficiência da linha de produção, fiabilidade e pontualidade nas entregas. Por último, os *dashboards* estratégicos são destinados a uma análise mais global, com um período de tempo mais prolongado, de 1 mês a um ano, com indicadores relativos aos custos, ao inventário, a previsões de tempos de entrega, e à produtividade total das linhas de produção [64].

Relativamente à forma como a informação é disposta no *dashboard*, existe um certo consenso na literatura [64]:

- Maior incidência na utilização de gráficos ou da representação tabular;
- Os gráficos reduzem o excesso de informação e apelam à sua consulta;
- Deve ser representativo de um certo período de tempo (minutos-horas, dias-semanas, mês-anos).

Para o sucesso da análise dos dados obtidos, pretende-se que este *display* seja atualizado em tempo real e que esteja exposto numa zona de fácil acesso por todos os elementos constituintes da empresa, ou num computador / *tablet* / *smartphone* pessoal.

2.4.4. *Impacto da I4.0 nas dimensões Lean tradicionais*

Para além de toda a comunicação já referida entre os elementos constituintes da cadeia de valor, os autores de [65] afirmam que é importante garantir o seu sincronismo para que esta quarta revolução industrial tenha sucesso. Os mesmos autores detalham como é que a I4.0 pode ser essencial, para cada um dos níveis da organização, para não comprometer esta interconexão. Os **fornecedores** devem ser informados, com regularidade, acerca do estado atual dos produtos e/ou serviços que providenciam, com o intuito de serem capazes de responder em conformidade, caso se verifique alguma anomalia. A I4.0 fornece as ferramentas necessárias para colmatar as lacunas associadas a uma produção com canais de comunicação desadequados que não forneçam um *feedback* automático aos fornecedores sobre o *status quo* dos seus produtos [47]. Não só ao nível dos fornecedores, mas também na gestão de topo, a I4.0 é crucial para a melhoria dos canais de **comunicação entre parceiros empresariais**, ao permitir a partilha de informação automática e permanente através de uma computação em nuvem, bem como de *smartphones* e *tablets* interconectados entre si [65].

Também o ideal de uma produção **JIT**, com vista à eliminação absoluta de inventário, é auxiliado por ferramentas da I4.0. Com os sistemas de logística atuais, são frequentes as incertezas quanto ao estado das encomendas, bem como, aos atrasos nas suas entregas e à falta de correspondência entre aquilo que é requerido e aquilo que é, de facto, entregue. Com a I4.0, através de uma conexão via *wireless,* surge a possibilidade de identificar cada matéria-prima, através de um RFID (*Radio Frequency Identification*) *tag*, sinal de radiofrequência que disponibiliza de imediato o acesso a toda a informação:

origem, destino e estado atual. Assim, com este sistema de localização, é possível otimizar as rotas de distribuição e os tempos de entrega, garantindo a chegada dos bens necessários à produção e, posteriormente, dos produtos ao cliente [65].

Outra dimensão Lean fundamental é o **cliente**. Como tal, é importante que este esteja permanentemente envolvido em todas as fases do processo. Este envolvimento é feito através da integração de sistemas de execução da produção (em inglês, *Manufacturing Execution Systems*, MES) e de aplicações *Business to Client* (B2C) que permitem manter o cliente informado da evolução do processo e da data esperada de término [65].

A filosofia Lean assenta num ideal de uma produção "puxada" pelo cliente (designada mundialmente por ***Pull Production***) onde uma operação só deve ser desencadeada quando o cliente assim o desejar [65]. Para implementar este conceito, muitas empresas já recorrem à utilização da ferramenta *Kanban*: o desencadeamento da operação é ditado por uns cartões que indicam que é necessário produzir, dado que o *stock* já se encontra abaixo do pretendido. Com recurso às tecnologias de informação e comunicação, surge o conceito de *e-Kanban*, onde os cartões físicos são substituídos por cartões virtuais [66]. Estes sistemas *e-Kanban* são capazes de reconhecer automaticamente, com recurso à sensorização, os caixotes de produtos que estão vazios ou perdidos e que, por isso, indicam que é necessário produzir mais. Através destas tecnologias, torna-se possível monitorizar o inventário em tempo real e, consequentemente, abastecer os caixotes automaticamente quando for necessário fazê-lo. A localização e a identificação do lote são feitas através dos sensores RFID que permitem identificar todos os recursos. Para além do inventário, também o planeamento pode ser monitorizado, permitindo atualizar os parâmetros respeitantes ao *Kanban*, em tempo real [66]. Posteriormente aos *Kanban bins* surgiu o sistema *iBin*, como uma extensão ao conceito anterior em que, com o recurso a uma câmara, é possível identificar o nível de *stock* dos produtos no caixote e reportar, via *wireless*, o seu estado para o sistema que controla o inventário. Na *Figura 13*, encontra-se representado um caso real de aplicação deste último sistema referido.

Figura 13 - Sistema iBin apresentado pela Würth Industrie Services GmbH & Co. KG [66]

Com base na ideia de uma produção JIT, é também importante que o **fluxo de informação e de material seja contínuo**. Assim, os recursos necessários à produção apenas devem chegar à estação de trabalho para dar início à operação e não devem, de modo algum, ser sujeitos a tempos de espera prolongados nem ser armazenados por longos períodos de tempo. Este tipo de situação ocorre, muitas vezes, devido a erros de contagem de inventário, ou devido ao facto de as tomadas de decisão ainda

serem muito centralizadas no topo da cadeia hierárquica e, por isso, surgirem atrasos face ao planeado. Assim, mais uma vez, as tecnologias associadas à Indústria 4.0 tornam-se cruciais para colmatar este problema e auxiliar na descentralização das decisões. Novamente com recurso à tecnologia RFID, monitoriza-se todo o inventário em tempo real, permitindo a sua drástica redução, garantindo, simultaneamente, que todos os bens são encomendados assim que necessários [65].

Outro dos grandes objetivos de uma Produção Lean, é a **redução do tempo de *setup***. Apesar de necessárias, as atividades associadas ao *setup* do equipamento não contribuem para a criação de valor do produto, sendo contabilizadas, por esta razão, como tempos não produtivos. Assim, a indústria 4.0 vem novamente auxiliar na resolução deste problema, através da utilização de sensores do tipo RFID que, ao permitirem a comunicação componente-máquina, assim que a peça chega à estação de trabalho onde vai ser realizada a operação, conseguem comunicar aos recetores da máquina, qual a operação a ser realizada, resultando num curto período de *setup* destinado à adaptação dos parâmetros por parte da máquina.

Um dos grandes desafios que as empresas enfrentam é a imprevisibilidade da ocorrência de falhas numa máquina. De facto, mesmo recorrendo a **manutenções** preventivas e periódicas, as falhas mecânicas nunca serão uma hipótese a descartar. Aquando da ocorrência de uma falha, surge a necessidade de encontrar a causa raiz para esse problema, com um elevado tempo despendido associado. Numa fábrica inteligente, com a conexão permanente entre todas as máquinas, a anomalia é automaticamente notificada ao operador, que pode agir de imediato em conformidade (o planeamento pode ser facilmente ajustado pelo sistema MES de modo a que este tempo de reparação não tenha um impacto negativo na produção). Com a implementação de algoritmos mais avançados é, igualmente, possível equipar a máquina por forma a que esta seja capaz de se "autoalertar" e prevenir a ocorrência de falhas [65], ou de realizar manutenções preventivas, isto é, intervenções periódicas que previnem a ocorrência de avarias e permitem avaliar o desempenho das operações [67].

Por último, mas não menos importante, à luz da filosofia Lean, é essencial garantir o pleno **envolvimento de todos os níveis da organização**. A alocação incorreta de operadores a atividades para as quais não estão devidamente treinados e formados, contribui para um ambiente de frustração e angústia, com impacto direto na produtividade. Assim, a Indústria 4.0 vem permitir que os operadores possam dar *feedback* das condições associadas à produção e, inclusivamente, fazer as suas próprias sugestões, contribuindo para o aumento da satisfação e motivação de cada um [47].

Assim, tal como referido por diversas vezes ao longo desta revisão bibliográfica, a indústria 4.0 vem influenciar positivamente o sistema de produção Lean, suportando a melhoria contínua, tanto ao nível da gestão de topo como no dia-a-dia do chão de fábrica. No entanto, apesar de vários autores referirem que a I4.0 ajuda na estabilidade e no refinamento das melhorias implementadas num sistema [48], não existe na literatura nenhuma metodologia projetada para auxiliar no controlo da standardização dessas mesmas melhorias. Importa salientar que a sua implementação não tem de ser necessariamente complexa nem requerer níveis avançados de tecnologia e inteligência artificial, como será comprovado posteriormente nesta dissertação, na secção respeitante ao auxílio da standardização de soluções com recurso a tecnologias características da I4.0.

3. Aplicação a um caso de estudo

A primeira fase da presente dissertação consistiu na realização de um caso de estudo numa empresa dedicada à produção de biofármacos, em que foram selecionadas áreas de produção com o intuito de primeiramente diagnosticar o respetivo fluxo, seguidamente identificar os seus problemas, e, por último, desenvolver e implementar as respetivas soluções.

Para a identificação dos desperdícios existentes, foram feitas diversas observações ao fluxo de produção e cronometradas as várias tarefas que compõem o processo. Esta primeira fase, que compreende o início do diagnóstico até ao início da implementação das melhorias, durou cerca de 2 meses e envolveu um esforço significativo, levantando a questão se seria possível fazer o diagnóstico de uma forma automática, com obtenção de valores em tempo real medidos por sensores, e consecutivamente tornando o diagnóstico mais robusto e credível, sem estar baseado somente num número finito de observações. Trata-se de algo já recorrente em empresas com algum nível de automação industrial, contrariamente ao que acontece na empresa em estudo, onde há uma elevada incidência de trabalho manual, sem recolha automática de dados, e onde a incerteza do retorno gerado por investimentos avultados é significativa.

Ainda na sequência desta primeira parte da dissertação, após o diagnóstico baseado em observações e cronometragens, identificaram-se as causas raiz para os problemas encontrados, e desenvolveram-se soluções tendo por base os princípios e métodos Lean. Seguiu-se a implementação dessas soluções por equipas internas com o apoio de especialistas externos. Numa abordagem tradicional, seguir-se-ia a fase de standardização de procedimentos para garantir a mudança de hábitos e a aplicação consistente dos procedimentos (esta fase já não foi acompanhada pela autora desta dissertação).

Antes da apresentação de todo o caso de estudo e posteriores desenvolvimentos, e tal como ilustra a *Figura 14* optou-se por esquematizar todos os passos que levaram à concretização da presente dissertação de mestrado. Posteriormente à fase de diagnóstico referida, selecionaram-se os principais problemas detetados e aplicaram-se ferramentas Lean tradicionais para a sua resolução (explicadas detalhadamente ao longo do Capítulo 5 da dissertação). De seguida, foi posto em prática o planeamento definido com vista à implementação das contramedidas para a resolução dos problemas. A seguir ao quinto passo, foram realizadas diferentes tarefas em simultâneo, isto é, a autora da dissertação, ao mesmo tempo que participava nas reuniões semanais realizadas com as equipas responsáveis pela resolução dos problemas, juntamente com o apoio prestado por especialistas internos, desenvolveu um conjunto de quatro propostas de sensorização que permitissem medir valores em tempo real, relacionados com os problemas detetados aquando do diagnóstico. A autora não participou na medição do impacto das melhorias implementadas e nos ajustes realizados (dois últimos passos do lado esquerdo do esquema), no entanto, requisitou aos auditores externos a respetiva informação para efeitos de análise dos resultados do processo de standardização. Relativamente ao lado direito do esquema, todos os passos apresentados foram executados pela autora da tese.

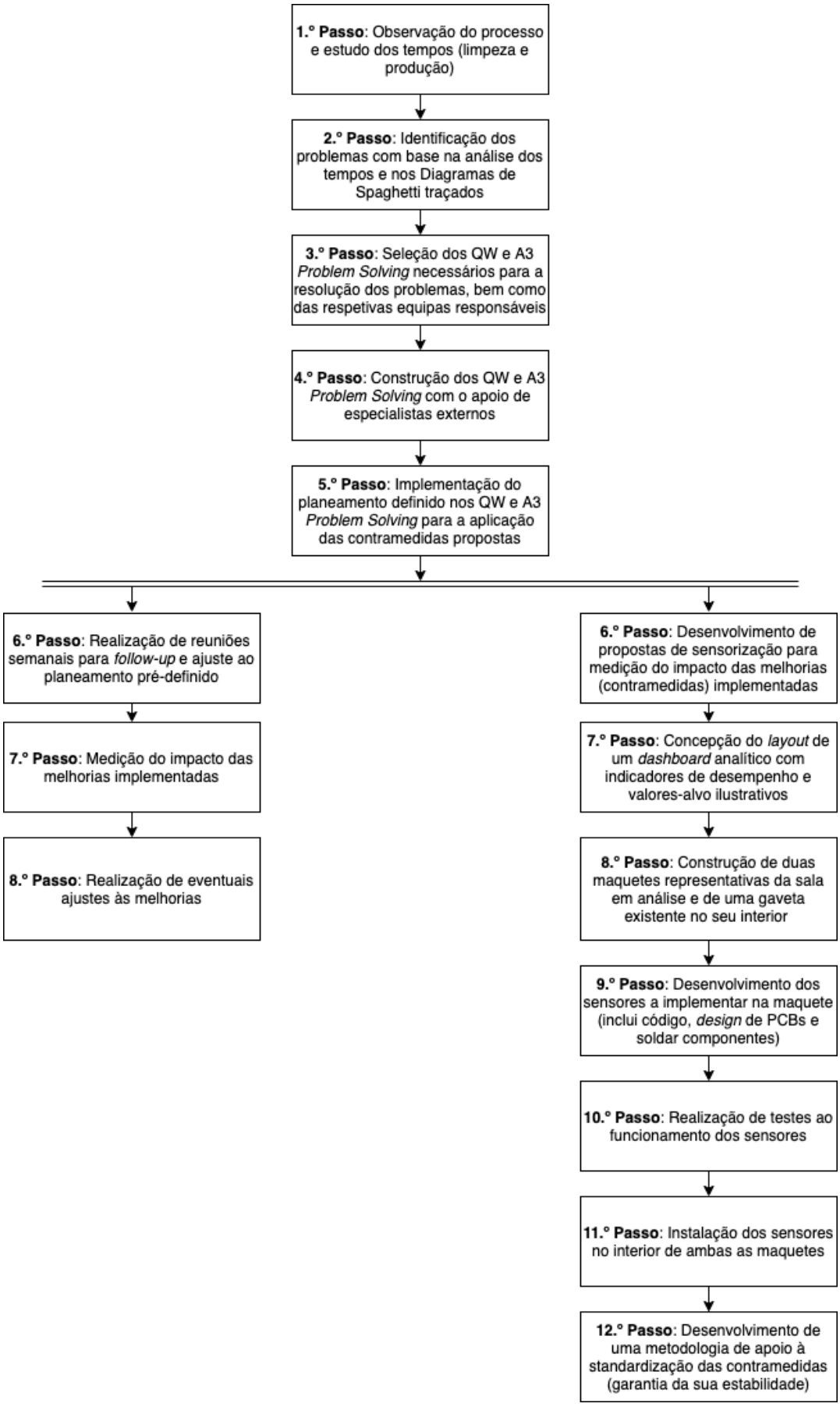


Figura 14 - Esquema detalhado das tarefas realizadas ao longo da dissertação

3.1. A empresa

3.1.1. *Estrutura*

Durante dois meses realizou-se um diagnóstico ao fluxo de produção de uma farmacêutica destinada à produção de biofármacos com venda exclusiva para testes clínicos. Toda a produção rege-se pela qualidade do produto, pela robustez e eficiência do processo e, essencialmente, pela garantia de uma sanitização de excelência de todos os espaços existentes na instalação. As boas práticas requeridas numa indústria farmacêutica regem-se pelas GMP – *Good Manufacturing Practices*.

A empresa divide-se, maioritariamente, nas seguintes áreas: Armazém; Limpeza; Manutenção; Planeamento; *Project Management* (PM); Produção; *Quality Assurance* (QA) e *Quality Control* (QC).

O **armazém** encontra-se atualmente dividido em duas zonas geograficamente distintas: uma área de armazenamento de componentes reutilizáveis, geralmente metálicos, que mediante uma esterilização eficiente, podem ser reutilizados no processo seguinte (como por exemplo: pinças, tesouras, entre outros) e outra área que contém os componentes necessários à preparação de materiais e de soluções, separados por cliente e/ou por projeto, as matérias-primas – MP – e os produtos finalizados para serem entregues ao cliente.

A **limpeza** de toda a instalação realiza-se tendo como base um procedimento rigoroso, SOP – *Standard Operating Procedure* – que deve ser estritamente cumprido de modo a garantir a sanitização necessária e, deste modo, evitar a contaminação dos produtos, durante a sua pesagem, preparação ou processo de fabrico. É estritamente necessário que a limpeza seja feita após a utilização de uma sala. Consoante a dimensão de cada sala, o número de utensílios de limpeza utilizados é variável, bem como as áreas a limpar.

A **manutenção** é responsável por garantir que todos os sistemas que requerem calibração/manutenção operam conforme o esperado durante o processo de fabrico, garantindo a eficiência do processo e a qualidade final do produto. A frequência de calibração e/ou manutenção é previamente estabelecida e documentada e, posteriormente, registada nos locais destinados para o efeito.

Para o **planeamento** da produção, o PM coloca os projetos da semana seguinte num ficheiro *Excel*. Na semana anterior à produção, o responsável por esta área define o planeamento de limpeza, de modo a garantir que a sala se encontra disponível e em condições para a produção seguinte, e reúne-se com o PM para alocar os operadores necessários às atividades, consoante a sua disponibilidade e nível de formação. Ainda na mesma semana, o responsável pelo planeamento informa o QC e o armazém acerca dos projetos para a semana subsequente.

O **gestor de projetos**, PM, é o responsável pela criação do documento de suporte à produção que contém todas as tarefas necessárias ao fluxo de produção, desde a ida ao armazém até ao seu

regresso para a devolução do produto finalizado. A este documento dá-se o nome de PG – Protocolo Geral.

O departamento de **produção** é responsável pela pesagem de matérias-primas, pela preparação de materiais e soluções que são utilizados nos processos de fabrico, e pela produção dos biofármacos. Para além disto, é imprescindível preencher toda a documentação necessária aquando da abertura de sala, durante o processo e no fecho de obra. Por cada processo, um dos operadores tem a tarefa de ir ao armazém recolher os componentes necessários à produção e, no final, devolver todos os componentes restantes e os produtos finalizados para serem armazenados.

O departamento **QA** está encarregue de rever os procedimentos utilizados em toda a empresa, bem como de assegurar que a cultura de qualidade é, de facto, cumprida por todos os níveis da organização. É, também, responsável por planear, agendar e coordenar todas as auditorias internas e externas de qualidade à empresa.

O **QC**, através de testes laboratoriais, testa e aprova todas as matérias-primas com base nas suas especificações e fornece a respetiva documentação necessária. É, ainda, responsável pela emissão de um Certificado de Análise (em inglês, *Certificate of Analysis* – CoA) que permite a utilização das matérias-primas pela produção.

3.1.2. *Descrição do sistema de produção em estudo*

No presente trabalho, realizou-se um diagnóstico ao fluxo de produção, e respetiva limpeza, de duas salas da instalação, a X e a Y. A sala X é destinada à pesagem de matérias-primas (*Figura 15,* à esquerda) e a Y (*Figura 15,* à direita) à preparação de materiais e soluções necessários para a produção de peças. A cada sala é atribuída uma classe, de acordo com uma tabela existente nas GMP com os limites definidos para o número de partículas existentes no ar.

Todas as unidades têm uma classe de criticidade de limpeza associada, com exceção da sala X, por se tratar de uma sala unicamente dedicada a pesagens de amostras ou de matérias-primas.

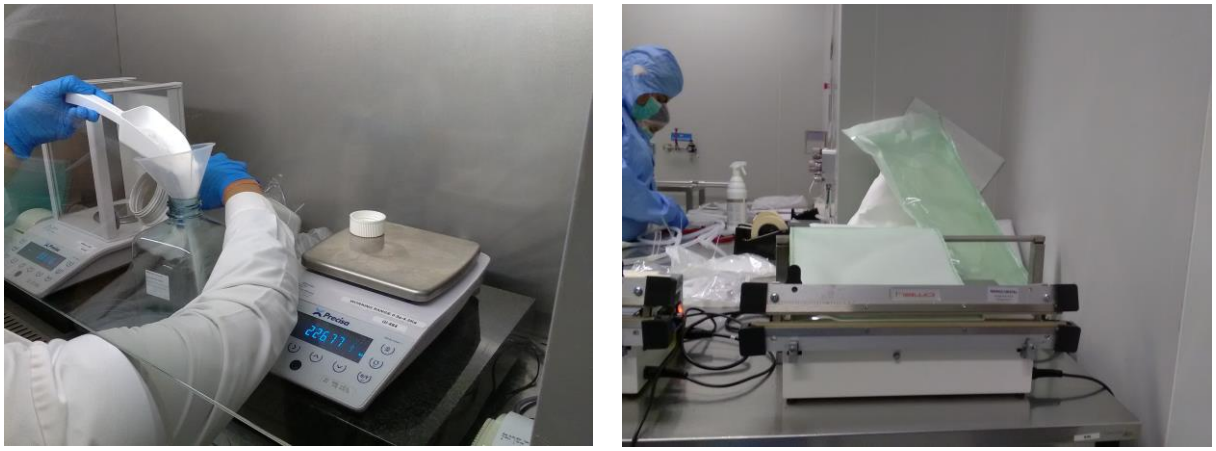


Figura 15 - Pesagem de MP (à esquerda) e montagem de componentes (à direita)

Devido à elevada semelhança dos problemas identificados nas duas salas, tanto na produção como na limpeza, e com o intuito de não tornar esta análise desnecessariamente extensa, optou-se por descrever apenas uma das salas. Selecionou-se a Y, por se tratar de uma sala classificada e devido à sua elevada dimensão e importância para o produto final.

Antes de se iniciar o fluxo de produção na sala Y, um dos operadores deve dirigir-se à estante que contém todos os documentos de suporte à produção, os PG, e recolher o correspondente à produção a realizar. Segue-se a fase do armazém, onde são recolhidos os componentes necessários ao processo, que são colocados num duplo saco devidamente desinfetado. Depois do armazém, os operadores encontram-se autorizados a entrar na sala para iniciar a atividade.

Para dar entrada na sala é necessário cumprir um procedimento rigoroso de vestuário que foi desenvolvido pelo departamento QA, e que é variável consoante as características de cada processo/sala. No caso da Y, numa sala destinada para o efeito, existem máscaras, luvas, sapatos e fatos de proteção (*tyvek*) para garantir que o operador não contamina o processo.

O fluxo de produção na sala Y inicia-se com a abertura de sala. A preparação do processo consiste, numa primeira fase, na etiquetagem de todos os equipamentos que vão ser utilizados durante a atividade, com recurso a etiquetas de operação (*Figura 16*), sem recorrer a etiquetas que digam *clean* ou *for cleaning*, dado que estas são usadas somente após o processo, ou logo depois da limpeza dos equipamentos. Simultaneamente, o outro operador deve proceder ao preenchimento do *logbook* da sala, um livro que contém campos de preenchimento obrigatório destinados ao arranque do processo, assegurando a existência de um histórico de utilização do equipamento.

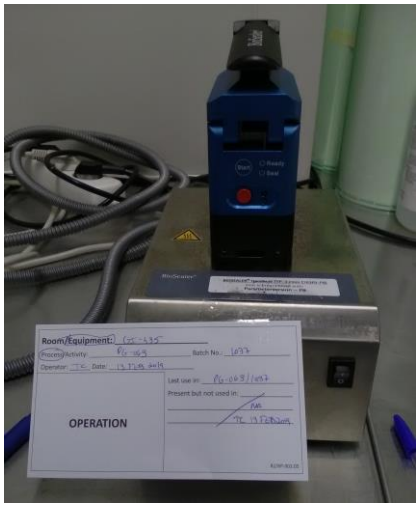


Figura 16 - Etiqueta de operação de um equipamento

Para se dar início ao processo de montagem das peças é necessário retirar o duplo saco que contém os componentes de um *airlock*. Este compartimento trata-se de uma câmara-de-ar que permite a entrada e saída de pessoas e materiais, preparada por forma a impedir ou minimizar a mistura de diferentes gases.

Depois de retirar do duplo saco todos os componentes, estes são colocados num carrinho, sem critério de arrumação, no interior da sala. De seguida, as instruções do PG são analisadas e procede-se à montagem. Simultaneamente, decorre a fase do embalamento: é necessário ligar a máquina destinada ao efeito, testar se está operacional e, de seguida, embalar duplamente cada peça finalizada pelo outro operador (*Figura 17*). Se não existirem peças finalizadas, o operador pode ir embalando os materiais reutilizáveis já referidos anteriormente. Após o duplo embalamento, coloca-se uma etiqueta de identificação da peça na parte de papel da embalagem e fita adesiva amarela na parte de plástico – *Figura 18*–, que corrobora a eficiência do ciclo de autoclave (se, no final do ciclo, a etiqueta amarela apresentar uma risca preta, significa que a autoclavagem foi bem sucedida). O ciclo de autoclave permite esterilizar todas as peças embaladas para serem entregues ao armazém e, posteriormente, ao cliente. Cada ciclo tem um número previamente definido de embalados e tem a duração de cerca de 3 horas.

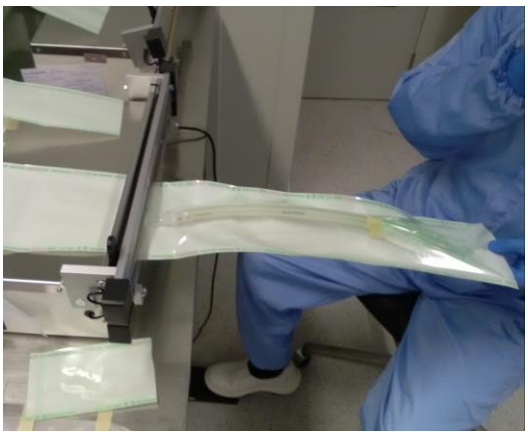


Figura 17 - Embalamento de uma peça

Figura 18 - Etiqueta branca e amarela do embalamento

Após a finalização de cada ciclo, o autoclave imprime dois comprovativos com todos os parâmetros do ciclo registados que devem ser colados no *logbook* da autoclave e no PG.

No final do processo é necessário que todos os equipamentos presentes na sala, tendo sido utilizados ou não, tenham uma etiqueta de operação preenchida com o nome do processo em causa e com uma etiqueta vermelha que indique que o equipamento está por limpar (*Figura 19*). Assim, o operador de limpeza saberá de imediato todos os equipamentos que terá de limpar. É igualmente essencial que o

operador cole uma etiqueta vermelha na etiqueta de operação na porta da sala, indicando, assim, que a sala foi utilizada para um processo e que é necessário que esta seja limpa. Na altura da realização do diagnóstico, é necessário efetuar a contagem da quantidade restante de componentes em cada saco e registá-la.

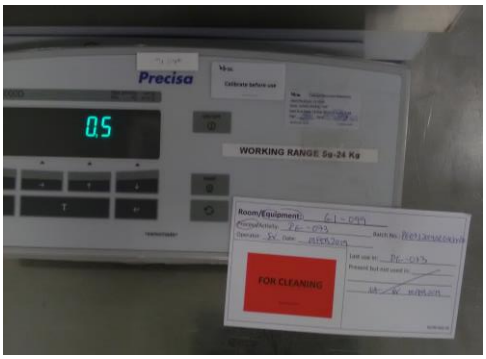


Figura 19 - Etiqueta identificativa de equipamento por limpar

Quando todos os ciclos de autoclave presentes no PG terminarem, colocam-se todos os embalados esterilizados num duplo saco, que é assinado e datado. O saco é colocado num *airlock* de acesso a uma sala onde as peças serão embaladas em manga de cristal, constituída por um material mais resistente a possíveis choques mecânicos, evitando que as peças fiquem danificadas durante o seu transporte. Por último, depois de envolvidas em manga de cristal, as peças são colocadas novamente no duplo saco, e são entregues ao armazém, onde são armazenadas de acordo com o projeto a que pertencem (é de salientar que o mesmo PG, à data da realização do diagnóstico, pode conter diversos projetos/clientes).

3.1.3. *Descrição do procedimento de limpeza da sala em estudo*

Tal como referido anteriormente, a limpeza das salas é uma das áreas mais críticas, requerendo especial atenção por parte dos departamentos de controlo e de garantia da qualidade.

Segundo os procedimentos de limpeza, a sala em estudo deve ser limpa sempre da(o) superfície/equipamento mais limpa(o) para a(o) mais suja(o), seguindo, por isso, a respetiva ordem: o teto, as paredes, os equipamentos e bancadas e, por último, o chão. Numa primeira fase aplica-se desinfetante a toda a superfície, o produto atua durante, no mínimo, 15 minutos e, de seguida, passa-se água em toda a superfície por forma a remover, na totalidade, eventuais resquícios de desinfetante. É de extrema importância que o operador de limpeza registe a hora de aplicação e de remoção do desinfetante, para todas as superfícies, numa folha adequada para o efeito – folha de registo de limpeza. Importa salientar que o número de mopas (panos especiais que são previamente mergulhados em desinfetante/água e que servem como instrumento de limpeza) se encontra bem definido para cada sala, consoante a sua área, de modo a garantir a eficiência da limpeza, não comprometendo a produção.

No final do processo de limpeza é estritamente necessário que o operador de limpeza cole, em todos os equipamentos presentes e na porta da sala, uma etiqueta verde sobre a vermelha, respetiva à produção anterior, que comprova que o equipamento foi desinfetado.

Antes de abandonar a sala, o operador de limpeza tem de registar nos *logbooks* da sala e no de cada equipamento que ocorreu uma limpeza, assinando e datando o respetivo registo.

Quando todos os passos anteriores estiverem efetuados, considera-se que o procedimento de limpeza está completo, e pronto para ser validado (através do preenchimento dos campos destinados à verificação da limpeza na folha de *changeover*).

3.1.4. *Finalização - Changeover*

O *changeover*, tal como é designado na empresa, trata-se de um documento que é preenchido em três alturas distintas. Primeiramente, é preenchido pela produção quando termina a atividade. Numa segunda fase, pelo operador de limpeza após terminar a sua função, servindo como comprovativo de que a limpeza da sala foi, de facto, efetuada e etiquetada. Por último, é da responsabilidade de todos os operadores verificarem a eficiência da limpeza, sempre que tiverem disponibilidade e o mais cedo possível. Caso sejam detetados problemas associados à limpeza, a título de exemplo, a falta de uma etiqueta verde que comprove que o equipamento foi limpo, é necessário garantir que o operador de limpeza é notificado a tempo, não comprometendo a produção seguinte. Salienta-se, ainda, que este documento contém uma série de campos que indicam o tipo de produção que foi realizado (exemplificando, uma pesagem) e se foram retirados materiais, soluções ou equipamentos da sala no final da operação.

4. Diagnóstico e causas raiz

4.1. Caracterização do sistema de produção

4.1.1. *Categorização das tarefas de produção*

O diagnóstico realizado permitiu compreender os detalhes respeitantes à produção na sala Y, bem como, identificar problemas e atrasos na produção, através de observações e anotações feitas a diversos processos, sempre com espírito crítico perante todos os passos que constam no procedimento. Para se proceder ao diagnóstico da produção, definiu-se que o elemento de estudo seria a própria peça, pelo que se procedeu ao acompanhamento desde que se inicia a sua montagem, até que esta é duplamente embalada. As tarefas realizadas ao longo do processo de produção da peça foram caracterizadas e cronometradas.

Posteriormente, classificaram-se todas as tarefas realizadas com uma de três categorias: tarefa de valor acrescentado, tarefa melhorável e tarefa de valor não acrescentado.

As tarefas de **valor acrescentado** caracterizam-se por serem necessárias para o processo. As de caráter **melhorável**, apesar de igualmente essenciais, não são realizadas da forma mais eficiente ou na ordem correta de acordo com o SOP. Por último, as tarefas que não fazem parte do procedimento são denominadas de tarefas de **valor não acrescentado** dado que, tal como o nome indica, não acrescentam qualquer valor ao produto (neste caso, a peça em estudo). As várias tarefas realizadas durante a montagem de uma peça, bem como as respetivas classificações, encontram-se descritas na *Tabela 5* do *Anexo A*.

4.1.2. *Problemas identificados e respetivos níveis de causa*

Posteriormente, cronometrou-se a duração de cada atividade para compreender o impacto/percentagem de cada um dos tipos de classificação na totalidade do tempo despendido no processo. Desta forma, é possível definir quais as áreas com espaço para melhoria ou, no limite, caminhar no sentido da eliminação das tarefas que não valorizam o produto, com vista à redução dos desperdícios e consecutivo aumento da eficiência do fluxo de produção.

Importa salientar que a discrepância significativa existente entre as diversas observações (*Figura 20*) é expectável dado que se tratam de peças com configurações distintas (apenas a primeira e a segunda observação é que são relativas ao mesmo tipo de peça) e com graus de complexidade de montagem distintos. No entanto, tratam-se de peças que são recorrentemente requeridas à empresa sendo, por isso, representativas da realidade atual de montagem existente na sala em estudo.

Relativamente ao valor acrescentado (a verde na *Figura 20*) obtém-se, num total de 10 peças observadas, uma média de 39% do tempo total do processo (*Tabela 2*). Esta classificação média

permite concluir que menos de metade da duração do processo é despendida na valorização do produto final.

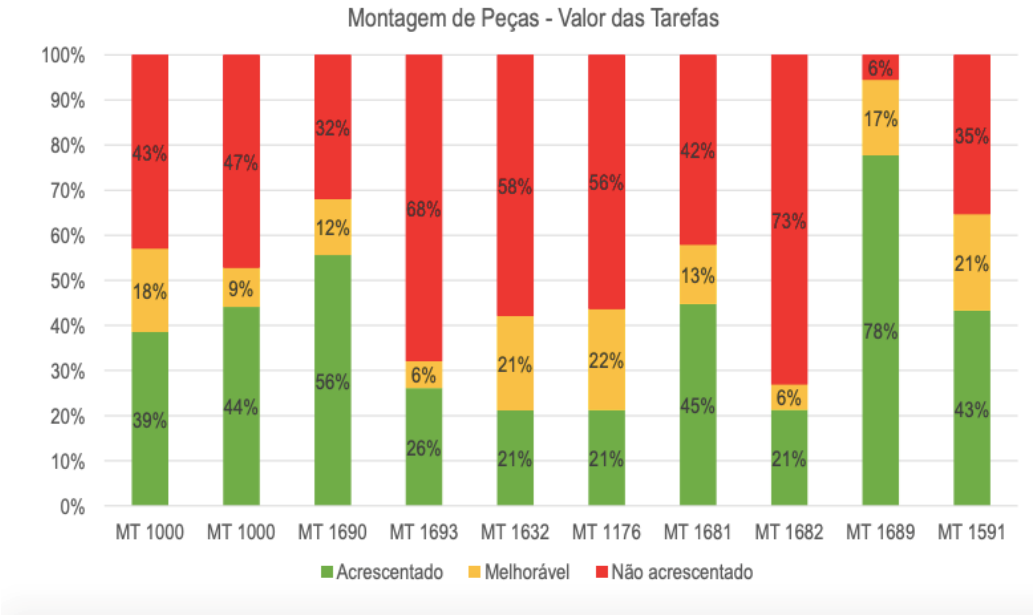


Figura 20 - Análise efetuada ao processo de montagem de peças

Tabela 2 - Percentagens médias de valor não acrescentado, melhorável e acrescentado, num total de 10 observações

Número total de observações	Média das % totais de tarefas de valor não acrescentado (%)	Média das % totais de tarefas melhoráveis (%)	Média das % totais de tarefas com valor acrescentado (%)
10	46%	15%	39%

As tarefas melhoráveis – a amarelo na *Figura 20*– representam cerca de 15% do processo (*Tabela 2*). Incluem o tempo despendido na medição e no corte da quantidade de tubo necessária à montagem, visto que não existe um método *standard* para o fazer e que o instrumento de medida atualmente utilizado, a régua, se encontra deteriorado e de difícil leitura. A demorada interpretação da montagem presente no PG é também representativa, devendo-se ao facto de, apesar da existência de desenhos ilustrativos do procedimento correto de montagem, as instruções serem escritas de forma livre. Desta forma, as instruções poderão não corresponder ao que é representado no desenho ou até serem de difícil compreensão, devido à falta de experiência e de formação dos operadores. Uma pequena parte do total mencionado traduz-se na movimentação sucessiva do operador entre a bancada de trabalho e o carrinho de arrumação para buscar, bem como para identificar, o saco de componentes necessários à montagem, devido à inexistência de um local devidamente adequado e seccionado para os arrumar. As restantes tarefas menos recorrentes encontram-se mencionadas na primeira tabela do *Anexo A*.

Ainda relativamente às tarefas melhoráveis, identificaram-se ainda três problemas que apesar de não terem sido diretamente quantificados através de percentagens, são decisivos na qualidade do produto final. O primeiro é caracterizado pela incoerência existente na nomenclatura interna (utilizada pelo armazém) para identificar o saco dos componentes e aquela que vem registada nas instruções do PG, gerando confusão e incerteza, telefonemas para o exterior e, num caso extremo, erros de montagem com consequente produção incorreta de peças. O segundo, relaciona-se com a localização aleatória das peças por esterilizar no autoclave e com a possível mistura de peças pertencentes a diferentes ciclos de autoclave. Por último, importa referir a dificuldade que atualmente existe em separar os sacos de componentes por projeto no interior da sala, sob risco de confundi-los e de utilizar componentes que não pertençam ao projeto que está a ser tratado no momento.

A vermelho na *Figura 20* encontram-se representadas as tarefas de valor não acrescentado, com uma contribuição de cerca de 46% face à totalidade do processo (*Tabela 2*). As esperas decorrentes da interrupção da montagem refletem uma grande parte desta percentagem (39%) e ocorrem devido a diversas razões: necessidade do operador auxiliar noutra montagem/embalamento e a dúvidas que surjam no decorrer do processo. Embora não tão frequente, por vezes também se devem a saídas da sala por falta de material inerente à montagem ou deterioração dos acessórios do *gowning* (vestuário). A procura, por parte do operador, de algum componente/registo em falta necessário, representa cerca de 4% da percentagem inicialmente mencionada, e deve-se à falta de organização dos registos, das etiquetas e do interior das gavetas. A conversa entre operadores resultante de dúvidas ou necessidade de confirmação de um determinado passo da montagem, aqui denominado por “conversa com conteúdo científico” é responsável por 2% desse valor. Tal como o que sucede com as tarefas de valor acrescentado e melhorável, os restantes 1% dividem-se pelas outras tarefas já mencionadas na *Tabela 5* do *Anexo A*.

No caso do fecho de obra, quantificou-se a duração das atividades críticas e determinou-se a sua percentagem face ao tempo total despendido na finalização do processo de produção, com a respetiva identificação do primeiro nível de causa. Foi contabilizada somente uma duração total de fecho de obra de 89 minutos, dos quais 7 foram despendidos em saídas da sala, por falta de material no seu interior (8%). Identificou-se, ainda, a dificuldade por parte dos operadores em manter o saco de componentes do fornecedor intacto (visto tratar-se do saco original, este não deve ser danificado) – sempre que se termina o processo sela-se o saco com recurso excessivo a fita adesiva que, ao fim de diversas utilizações, tende a danificar-se. O tempo cronometrado para o fecho do saco foi cerca de 8 minutos, aproximadamente 9% do tempo total de fecho de obra.

4.2. Caracterização do fluxo de limpeza

4.2.1. *Categorização das tarefas inerentes à limpeza*

Tal como à produção, foi igualmente realizado um diagnóstico ao fluxo de limpeza da sala Y, devido à extrema importância e impacto que a limpeza tem na qualidade do produto final. Utilizou-se uma metodologia de análise similar à descrita para o fluxo de produção. A categorização das tarefas

realizadas pelo operador de limpeza também segue a mesma lógica. No entanto, agora está relacionada com o cumprimento do SOP de limpeza (tarefa com valor acrescentado), com a realização de tarefas que constam no procedimento, mas feitas de forma desadequada ou não cumprindo o fluxo ideal de limpeza – tarefa melhorável –, ou com as tarefas que não são necessárias à limpeza do espaço e que, por isso, não têm valor acrescentado. A categorização referida encontra-se na *Tabela 6* do *Anexo A.*

4.2.2. *Problemas identificados e respetivos níveis de causa*

Numa primeira fase, foram feitas diversas observações ao processo de limpeza da sala Y. De seguida, em duas dessas observações, cronometrou-se a duração de cada atividade, para compreender o impacto que cada uma das categorias de classificação tem no tempo total despendido na limpeza da sala Y (*Figura 21*).

Posteriormente, analisou-se as percentagens atribuídas e procurou encontrar-se métodos que contribuam para a eliminação das tarefas que não permitem uma limpeza eficiente da sala, com o intuito de diminuir o aparecimento de equipamentos não limpos aquando do início da produção seguinte, e consecutiva interrupção do processo para nova limpeza.

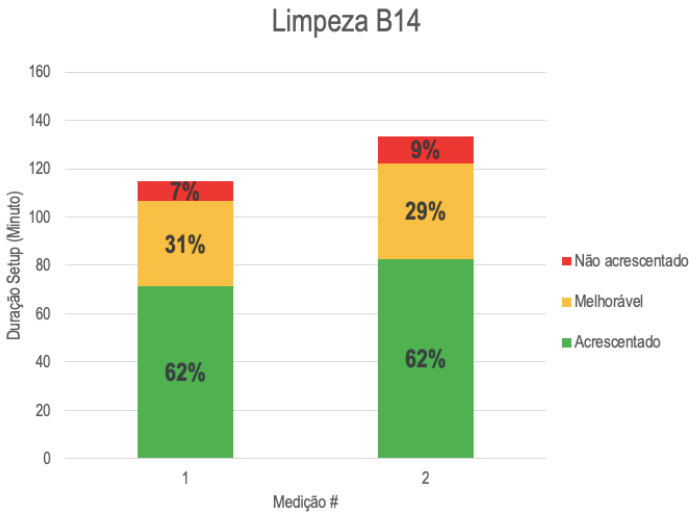


Figura 21 - Análise efetuada ao processo de limpeza de sala

Através de uma análise direta do presente gráfico (*Figura 21*) é possível concluir, de imediato, que as limpezas são bastante coerentes entre si, e que o procedimento é maioritariamente cumprido, dado que as operações de limpeza observadas foram realizadas por diferentes operadores.

A percentagem mais significativa reside nas tarefas de valor acrescentado, numa média de 62%, caracterizada por atividades que, de facto, constam no procedimento e são realizadas pela ordem correta. A título de exemplo, a limpeza dos *airlocks*, dos tetos, das paredes, dos equipamentos, das bancadas e, por último, do chão (seja com desinfetante ou com água, desde que realizadas por esta ordem). As tarefas melhoráveis e de valor não acrescentado encontram-se na *Tabela 6* do *Anexo A* e representam, em média, 30% e 8% do tempo total despendido no processo de limpeza, respetivamente.

Recorreu-se, ainda, ao Diagrama de *Spaghetti*, uma ferramenta Lean muito utilizada que permite identificar, de uma forma rápida e visual, todos os movimentos feitos pelo operador no interior da sala em estudo. Importa salientar que existem 4 *airlock*s na sala, identificados numericamente e que têm o seguinte significado: *airlock 1* (entrada de pessoas); *airlock 2* (entrada de materiais); *airlock 3* (saída de pessoas) e *airlock 4* (saída de materiais).

Nesta análise, utilizaram-se três cores distintas com o intuito de associar a cada um desses movimentos, uma das três categorias utilizadas para caracterizar as tarefas realizadas: o vermelho, corresponde às tarefas de valor não acrescentado, o amarelo às melhoráveis e, por último, o verde representa as de valor acrescentado. Importa salientar que cada linha da *Figura 22* representa uma deslocação única de um operador.

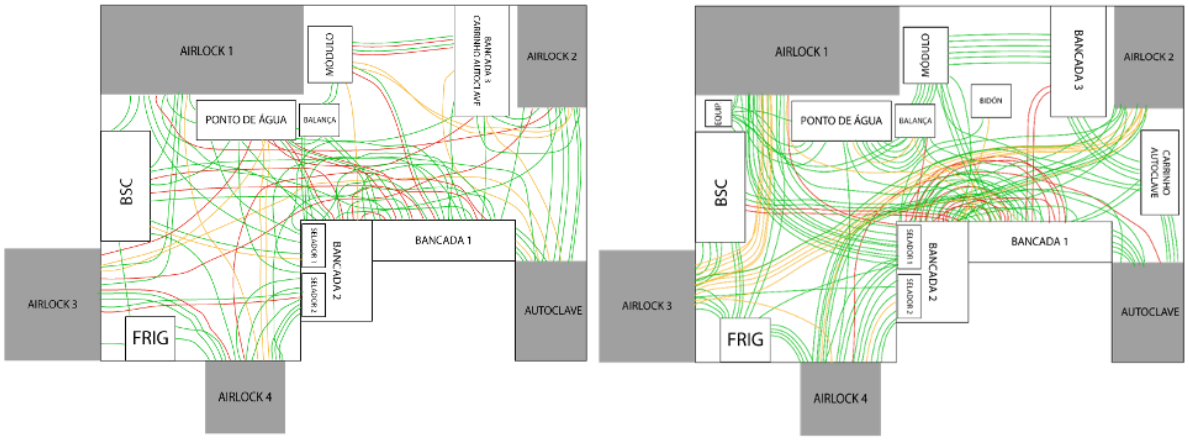


Figura 22 - 1.ª e 2.ª observações, respetivamente

Através de uma análise direta das observações, é possível estabelecer uma comparação:

- Ambas demonstram que o fluxo de limpeza é indefinido, isto é, que não seguem uma ordem coerente de limpeza e que, sobretudo, não cumprem a ordem correta estabelecida no procedimento: os *airlock*s representados na planta devem ser desinfetados do mais limpo para o mais sujo (1→ 2→ 4→3) – correspondente à maioria dos traços a amarelo, representados em ambas as observações;
- Existem muitas atividades sem valor acrescentado (a vermelho na *Figura 22*) correspondentes à passagem de desinfetante ou de água mais do que uma vez na mesma superfície, e referentes a uma série de movimentos desnecessários para zonas distintas da planta. Tanto na primeira como na segunda observação, estes movimentos corresponderam à mudança de utensílios ou da folha de registo de sítio ou, simplesmente, porque não se recordavam da tarefa seguinte.

Importa salientar que as operações de limpeza foram realizadas por dois operadores diferentes, o que comprova que o problema reside essencialmente na incompreensão do procedimento a seguir e não no próprio operador. Assim, o presente capítulo pretende apresentar e quantificar os diversos problemas existentes aquando da montagem de peças e durante o processo de limpeza da sala.

5. Desenvolvimento de soluções

5.1. Lógica da abordagem utilizada

Para além do diagnóstico realizado ao presente caso de estudo, aplicaram-se métodos de resolução para os problemas identificados na fase anterior, à luz do pensamento Lean. A cada um dos desafios encontrados, atribuiu-se uma equipa responsável pela sua resolução, composta por membros dos vários departamentos da empresa. Antes de iniciar a fase de implementação, é importante que a cultura de *problem solving* esteja presente e consolidada por todos os colaboradores da organização e que tenham presente toda a filosofia do Ciclo de *Deming*. O modo de funcionamento das duas ferramentas de *problem solving* utilizadas encontra-se detalhado no *Anexo B*.

5.1.1. *Quick-Wins*

Um dos dois métodos de resolução utilizado para colmatar os desafios em estudo é o *Quick-Win* (QW). Geralmente, um problema do tipo QW é de rápida resolução, com uma duração ideal de uma semana, e é caracterizada por um baixo esforço para encontrar uma solução, mas com um elevado impacto para a empresa. No entanto, muitos dos QWs que vão ser apresentados nesta dissertação são de carácter mais complexo, pelo que a sua implementação será muito mais demorada que o usual.

O método utilizado no desenvolvimento de cada QW consiste numa folha com diversos campos que foram progressivamente preenchidos ao longo de várias reuniões, em conjunto com as equipas responsáveis por cada desafio (ver *Anexo B*).

Para garantir a continuidade na implementação das contramedidas propostas, é importante traçar um plano de ação que inclua as tarefas que são necessárias realizar, bem como os responsáveis da equipa que têm de garantir o cumprimento dessas ações, e o prazo definido para a concretização das respetivas tarefas. Para além disto, o *template* inclui um campo denominado “Ganho” que é somente preenchido quando a tarefa em causa estiver concluída (ver *Anexo B*).

5.1.2. *A3 Problem Solving*

O raciocínio utilizado num *A3 Problem Solving* reflete o pensamento Lean aplicado à resolução de problemas. Este método deve ser utilizado quando não existe uma solução óbvia e direta para o desafio em estudo. Envolve um esforço significativo por parte da equipa alocada, com um impacto muito significativo na empresa aquando da sua implementação. A sua aplicação tem a duração média de 6 a 8 semanas até à implementação das contramedidas.

No fundo, assemelha-se a um relatório em permanente evolução onde, de uma forma visual e estruturada, é descrito o estado atual do problema, as suas causas raiz, as contramedidas para o solucionar, e o planeamento necessário ao sucesso da sua resolução.

5.2. Contramedidas propostas

Dado que um dos objetivos desta dissertação é propor uma metodologia de apoio ao controlo da standardização de melhorias, com o auxílio de tecnologias digitais, apenas serão mencionados os QW e os A3 diretamente relacionados com as soluções que posteriormente foram alvo de digitalização. Uma vez que a standardização incide nas soluções encontradas e não no processo para as obter, este subcapítulo foca-se principalmente em descrever, para cada caso, os problemas encontrados e as respetivas soluções obtidas. No *Anexo C* encontram-se descritos os valores alvo e os respetivos planos de ação dos QW e dos A3 desenvolvidos.

5.2.1. *Incoerência na nomenclatura utilizada nas etiquetas de operação – Quick-Win*

Tal como mencionado na secção *Diagnóstico e Causas Raiz* desta dissertação, uma parte significativa da percentagem de valor não acrescentado na produção de uma peça na sala Y, deve-se aos elevados tempos de espera a que a peça é sujeita durante o processo de montagem. De facto, estes atrasos na execução do trabalho refletem-se, maioritariamente, em dúvidas que surgem aos operadores, com consecutivos telefonemas para o exterior, tanto aquando da montagem como na sua interpretação.

Perante a urgência de compreender a causa para a dificuldade existente na interpretação do PG por parte dos operadores, reuniu-se uma equipa responsável e formulou-se o respetivo QW. Concluiu-se que estas esperas, que resultam em atrasos na produção, e que, em última análise, poderiam conduzir à presença de erros na montagem das peças, resultavam da incoerência existente entre a nomenclatura pela qual os componentes eram identificados no armazém – etiquetas emitidas pelo pelo *software* utilizado pela empresa para a inserção de componentes necessários à montagem – e aquela utilizada no PG (escrita livre, variável de operador para operador). De agora em diante, o *software* referido passará a ser referido como *software A*.

Com a resolução deste problema, pretendeu eliminar-se o tempo despendido na interpretação das dúvidas existentes, reduzindo, assim, o tempo total do processo, bem como uniformizar a nomenclatura utilizada. Quantificando, estabeleceu-se como valor alvo, **0%** de erros na escolha do componente descrito no PG, de erros nas instruções de montagem, e de erros na peça produzida.

Para garantir a coerência na nomenclatura utilizada, desenvolveu-se uma proposta composta por seis tarefas/contramedidas, e atribuiu-se um responsável e um prazo limite de execução para cada uma. Importa referir que o responsável por cada atividade é sempre um elemento da equipa designada para a resolução do problema em estudo. Na *Tabela 7* do *Anexo C* encontra-se o respetivo plano de ação.

Neste caso, não existiu uma fase de habituação à nova realidade e o problema foi totalmente mitigado, dado que toda a nomenclatura que consta nas instruções das peças foi uniformizada de uma só vez estando, agora, coerente com aquela que é utilizada no *software A*. Sempre que é introduzida uma nova peça no sistema, é necessário redigir uma nova instrução concordante com o software utilizado. Durante a produção de peças, caso surja um material que possua uma etiqueta não atualizada por já

estar armazenado há muito tempo, procede-se de imediato à eliminação da etiqueta e reposição por uma atual.

5.2.2. *Dificuldade no preenchimento e realização do changeover – Quick-Win*

Este QW surgiu de diversas questões levantadas nas reuniões semanais de produção, bem como das observações feitas à abertura da sala Y, durante o período de diagnóstico. Constatou-se que existem incoerências no preenchimento da folha de *changeover*, que os seus campos não eram preenchidos de igual forma pelos colaboradores, acompanhado de um elevado tempo despendido na respetiva ação.

Após a seleção da equipa responsável para este QW, procedeu-se à determinação das causas raiz do problema. De acordo com as regras estipuladas pela empresa, o documento em causa não pode ser assinado e verificado pelo mesmo operador. Ora, o *layout* atual da folha em estudo (*Figura 23*), apresenta-o como um documento único, não permitindo que o operador responsável por fazer a verificação da limpeza, tenha sido um dos operadores responsáveis pelo processo anterior – os campos destinados à produção e à limpeza encontram-se na mesma secção. Para além deste constrangimento, os campos da folha de *changeover* não estão adaptados à realidade atual da empresa: trata-se de um documento comum a todas as salas, no qual existe um elevado número de campos não aplicáveis a salas somente relacionadas com pesagens ou com preparação de materiais/soluções, como é o caso da X e da Y, respetivamente. A *Figura 23* ilustra um caso prático da sala Y, onde é possível observar-se nas colunas respeitantes ao "*Yes*" e ao "*No*", o elevado número de campos preenchidos com "NA" (*Not Applicable*). Verificou-se, ainda, que se trata de um documento pouco claro, que suscita dúvidas aquando do preenchimento de determinados campos e, no caso dos operadores de limpeza, constatou-se que o facto de os campos se encontrarem redigidos em inglês, dificultava a sua compreensão.

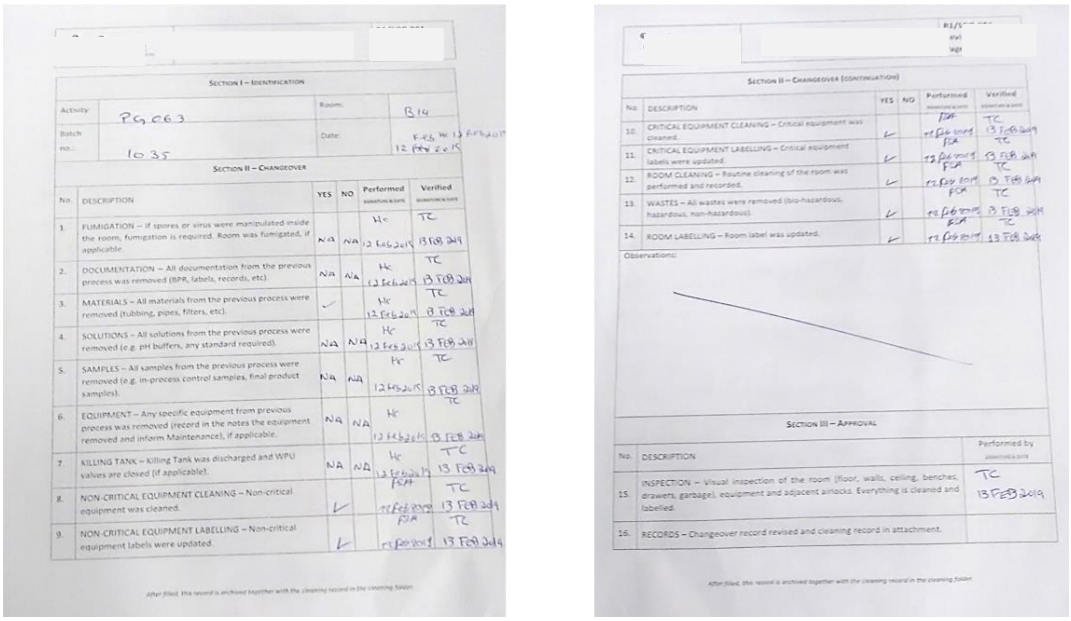
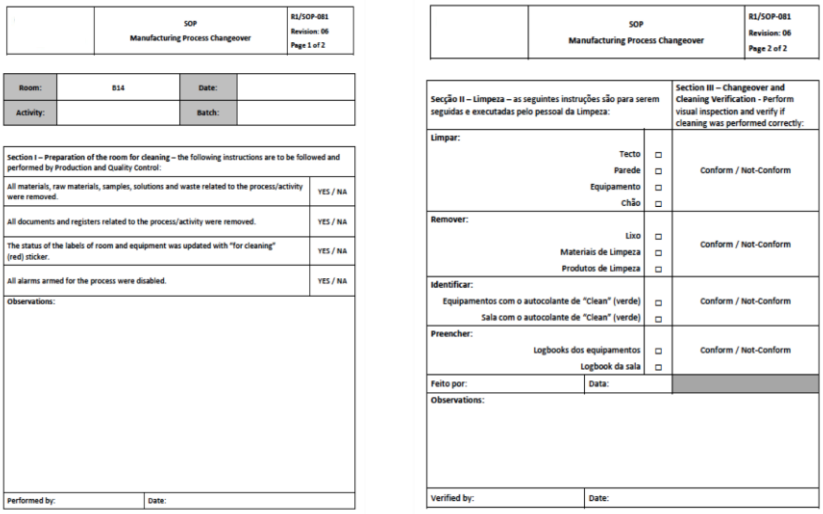


Figura 23 - Template da folha de changeover – versão inicial

Definiram-se, então, os três seguintes objetivos: tornar a folha de *changeover* mais clara e intuitiva, reduzir o seu tempo de preenchimento e eliminar a questão de a folha poder ser preenchida e verificada pelo mesmo operador.



	SOP Manufacturing Process Changeover	R1/SOP-081 Revision: 06 Page 1 of 2

Room:	B14	Date:	
Activity:		Batch:	

Section I – Preparation of the room for cleaning – the following instructions are to be followed and performed by Production and Quality Control:	
All materials, raw materials, samples, solutions and waste related to the process/activity were removed.	YES / NA
All documents and registers related to the process/activity were removed.	YES / NA
The status of the labels of room and equipment was updated with "for cleaning" (red) sticker.	YES / NA
All alarms armed for the process were disabled.	YES / NA
Observations:	

Performed by:	Date:

	SOP Manufacturing Process Changeover	R1/SOP-081 Revision: 06 Page 2 of 2

Secção II – Limpeza – as seguintes instruções são para serem seguidas e executadas pelo pessoal da Limpeza:		Section III – Changeover and Cleaning Verification - Perform visual inspection and verify if cleaning was performed correctly:
Limpar:		
Tecto	☐	Conform / Not-Conform
Parede	☐	
Equipamento	☐	
Chão	☐	
Remover:		
Lixo	☐	Conform / Not-Conform
Materiais de Limpeza	☐	
Produtos de Limpeza	☐	
Identificar:		
Equipamentos com o autocolante de "Clean" (verde)	☐	Conform / Not-Conform
Sala com o autocolante de "Clean" (verde)	☐	
Preencher:		
Logbooks dos equipamentos	☐	Conform / Not-Conform
Logbook da sala	☐	
Feito por:	Data:	
Observations:		

Verified by:	Date:

Figura 24 - Template da folha de changeover para a sala Y - versão melhorada

A *Figura 24* ilustra a versão final da folha de *changeover* que já se encontra em fase de implementação. Os campos a preencher pelos operadores de limpeza foram colocados em português e em inglês, tal como previamente planeado, e os da produção somente em inglês. Para além da alteração mencionada, a seleção das atividades realizadas em cada processo foi simplificada, passando apenas a ser necessário selecionar a opção "*YES*" ou *"NA*", caso a ação tenha sido realizada nesse processo, ou não seja aplicável, respetivamente. Por último, a limpeza e a produção foram colocadas em secções distintas pelo que já é possível, embora não ideal, que o mesmo operador execute o processo e verifique a limpeza sequente. O plano de ação para a realização de todas as alterações encontra-se na *Tabela 8* do *Anexo C*.

Aquando da implementação da nova versão da folha de *changeover* surgiram algumas dúvidas relativas ao seu modo de preenchimento, visto que a folha ainda continha campos destinados a diferentes salas. Assim, a folha foi também adaptada a cada sala (as alterações foram efetuadas consoante a sala se destine a pesagens, a montagens, a fumigações, entre outros) sendo que a que se encontra representada na *Figura 24* é respeitante à sala de montagens (sala Y). Constatou-se a permanência de erros na folha de *changeover*, resultantes de uma comunicação ineficiente quanto ao modo correto do seu preenchimento. Para fazer face a este desafio, realizou-se uma sessão de esclarecimento com toda a equipa com o intuito de expor os erros mais críticos e frequentes e, assim, colmatá-los. Durante o processo de standardização, realizaram-se reuniões semanais entre os auditores externos e as equipas responsáveis, destinadas à correção de eventuais erros nas várias áreas da folha de *changeover*.

5.2.3. *Desperdício associado ao procedimento da Produção – A3 Problem Solving*

Durante a fase de diagnóstico, a dificuldade na organização do espaço de trabalho e no planeamento das tarefas durante a fase de produção de peças, resultou em atividades sem valor acrescentado.

Tendo em conta o esforço necessário e o impacto da respetiva resolução na empresa, surgiu a necessidade de solucionar este desafio através do método A3 já descrito anteriormente. O primeiro passo consistiu em definir a situação atual respeitante a este problema. Constatou-se que a gestão de recursos humanos ao longo do processo não era a mais adequada, isto é, o número de operadores existentes no interior da sala não era proporcional à quantidade de tarefas existentes. Verificou-se, também, que existia entropia no interior da sala e dificuldades em manter a sua organização, com consequentes desperdícios de tempo associados à espera por materiais necessários ao processo, ou na sua procura.

Verificou-se que o local destinado ao corte dos tubos necessários às montagens não estava definido, variando consoante o processo, o espaço disponível e a vontade do operador. Na *Figura 25* é possível verificar que o operador utilizou um módulo de gavetas para efetuar a operação, ao invés de uma bancada de trabalho.

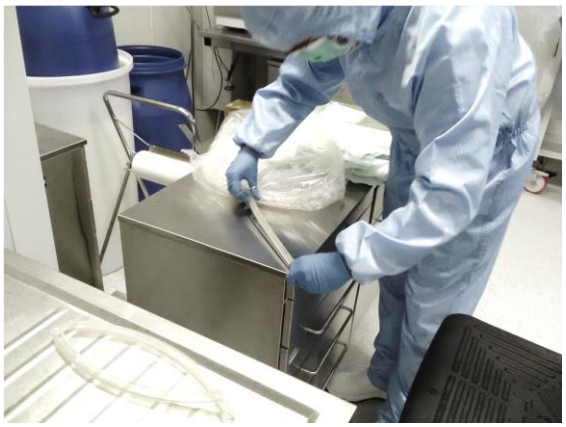


Figura 25 - Utilização indevida de um módulo de gavetas para efetuar um corte de tubo

Identificou-se, igualmente, a dificuldade na procura dos registos necessários (*logbooks* e etiquetas) e dos componentes adequados para a montagem das peças. Por último, verificou-se que não existe passagem de trabalho entre diferentes grupos de operadores, responsáveis pelo mesmo processo, aquando da troca de turnos.

De seguida, tornou-se imperativo descobrir as causas raiz para o problema em análise. Para chegar ao primeiro nível de causa, utiliza-se o método dos *5 Whys* já descrito na secção *Revisão Bibliográfica*, cuja lógica se encontra representada na *Figura 26*.

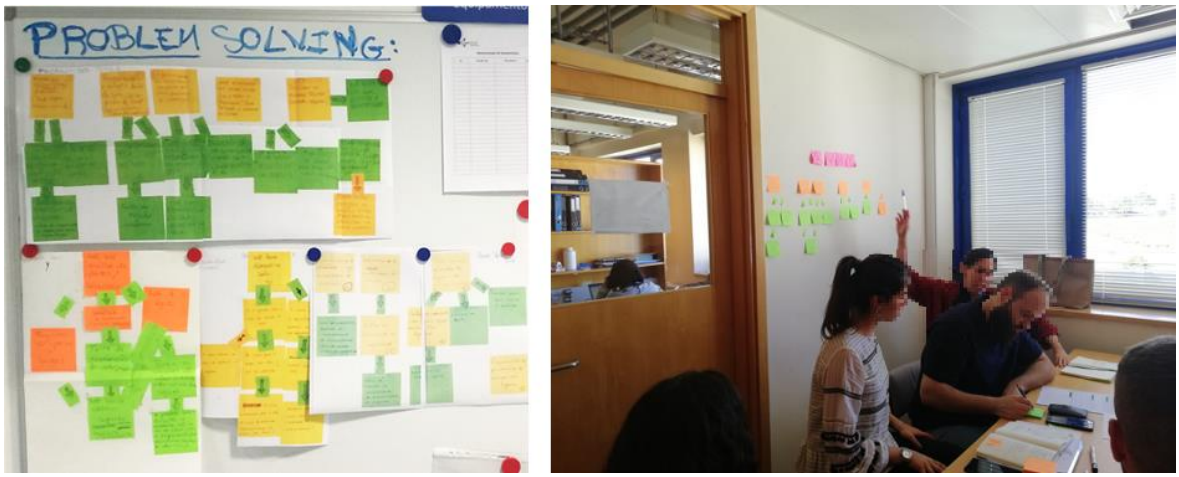


Figura 26 - Aplicação da lógica "5 Whys" ao problema em estudo

Para este caso em particular, e por forma a apresentar um exemplo completo do resultado da aplicação desta lógica, a análise detalhada das causas raiz encontra-se na *Figura 53* do *Anexo C.*

Como condição alvo, a equipa comprometeu-se a atingir **10%** de perda total de tempo em atividades como a desorganização e entropia no interior da sala em relação ao tempo total despendido no processo, e em encontrar de imediato os componentes e as folhas de registo (**0%** de perda de tempo nestas tarefas).

Com vista à resolução do presente caso, e com base na análise das causas raiz, estabeleceram-se diversas contramedidas, bem como um plano de ação com vista à sua resolução. Este plano de ação, com os respetivos prazos de conclusão, encontra-se detalhado na *Tabela 9* do *Anexo C*.

Tendo em conta a inexistência de um local específico para a organização dos sacos dos componentes, originando dificuldade na procura dos componentes necessários à montagem, foi estabelecida uma lógica para a sua colocação no carrinho de arrumação, tal como ilustrado na *Figura 27*.

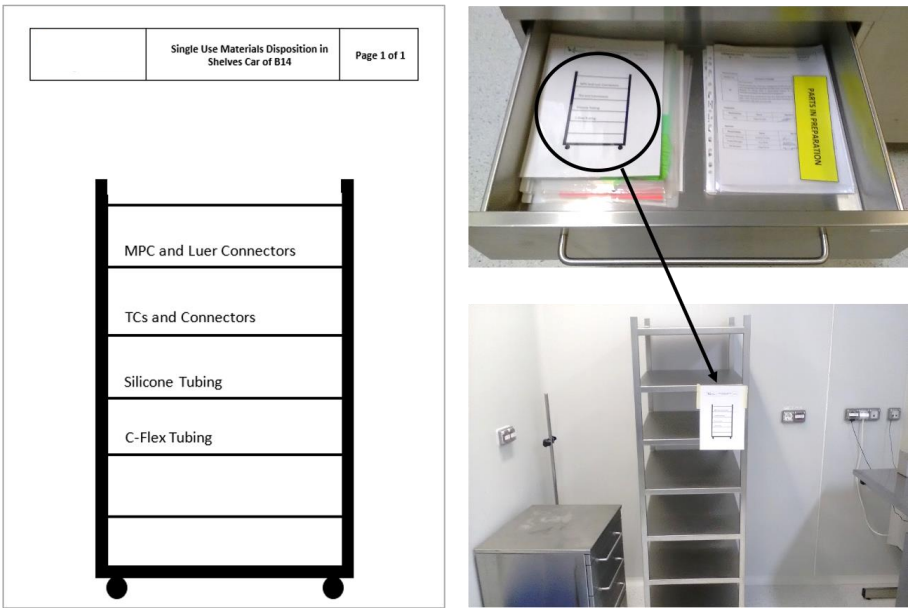


Figura 27 - Estruturação da arrumação dos componentes no carrinho e respetiva identificação

Um dos problemas existentes relativamente aos ciclos de autoclave, residia na mistura de peças de diferentes ciclos na bancada de trabalho, exigindo uma posterior separação, com um elevado tempo despendido associado. Para além disto, observou-se uma dificuldade no controlo do número de peças que faltavam terminar para dar início ao ciclo de autoclave em causa. Assim, com o intuito de criar um método de organização *standard* no interior da sala, e dado que cada PG é composto por vários ciclos de autoclave, surgiu a necessidade de os separar em diversas caixas, devidamente identificadas. Assim, o operador consegue selecionar de imediato todos os componentes respeitantes ao ciclo seguinte, sem perdas de tempo associadas, e sem risco de ocorrer a mistura entre peças de diferentes ciclos, já referida (ver *Figura 28*).

Figura 28 - Utilização de caixas identificativas de cada ciclo de autoclave

Para a diminuição da entropia existente na bancada de trabalho, que inclui tanto a zona destinada ao corte do tubo, como a zona dedicada à montagem dos componentes, estabeleceu-se um novo *layout* (ver *Figura 29*) para a realização das várias tarefas necessárias ao processo: uma zona dedicada ao corte, uma segunda à montagem e, ainda, uma terceira destinada ao embalamento.

Figura 29 - Nova disposição da sala Y

Para além desta alteração, tal como previsto pelo planeamento, procedeu-se à identificação das gavetas presentes na sala, com um local bem definido para os consumíveis, ferramentas e documentos. Na *Figura 30*, encontram-se alguns exemplos de identificação dos materiais existentes no interior das diversas gavetas.

Figura 30 - Identificação dos utensílios no interior das gavetas da sala Y

Por último, e com o intuito de colmatar a inexistência de passagem de trabalho entre diferentes turnos, desenvolveu-se um cartão identificativo que permite identificar a última peça que foi realizada pelo turno anterior. O cartão encontra-se guardado no interior de uma das gavetas de arrumação e deve ser colocado pelo operador por cima da última peça efetuada, antes de abandonar a sala (*Figura 31*).

Figura 31 - Cartão identificativo da passagem de trabalho entre turnos

A habituação dos operadores a estas melhorias implementadas não foi imediata. Relativamente à lógica proposta para o carrinho de arrumação, os operadores referiram que se esqueciam frequentemente de a cumprir. Assim, realizou-se uma sessão geral de esclarecimento onde se estabeleceu que seria necessário passar a colar a folha diretamente no carrinho, ao nível do campo de visão do operador, tal como demonstra a *Figura 27*. Relativamente ao novo *layout* da sala e às caixas destinadas aos componentes de cada ciclo de autoclave, constatou-se uma rápida aceitação e cumprimento das novas medidas. Os operadores revelaram uma certa resistência à utilização da identificação das gavetas, tendo revelado que, por questões de hábito, continuavam a despender tempo na abertura e no fecho consecutivo das gavetas, aquando da procura de um determinado utensílio. Relativamente à passagem de informação aquando da mudança de turno, a standardização também se revelou algo complexa dado que não é possível parar o ciclo e trocar de turno em qualquer altura. Para colmatar este problema, realizou-se uma reunião de esclarecimento com a equipa responsável, os auditores externos e um membro do departamento QA para estabelecer as fases específicas onde os ciclos podem ser suspensos.

Para a constatação de todas estas dificuldades foram realizadas diversas avaliações presenciais ao sistema, antes e depois destas retificações mencionadas. Para a realização destas auditorias foi desenvolvido um questionário pela equipa de auditores externos com o intuito de avaliar a utilização das novas soluções implementadas. A *Tabela 3* representa o questionário aplicado a um caso

meramente ilustrativo de possíveis respostas fornecidas pelos utilizadores, numa escala de 1 a 5, em que 1 reflete a existência de não conformidades, 3 a existência de não conformidades e de conformidades, e 5 representa a situação ideal, onde tudo está conforme o previsto.

Tabela 3 - Questionário realizado aos operadores face às novas melhorias implementadas na sala Y

Instruções		Semana do ano										
Prencher cada campo, na semana do ano correspondente, com a avaliação segundo a legenda que se encontra em cima. Copiar a folha "Output Semana X" e alterar o nome. Alterar o campo "Semana" na folha "Output Semana X" para a semana correspondente.		47	48	50	50	51	52	1	4	5	6	7
1	Caixas para componentes por autoclavar											
1.1	As caixas estão a ser utilizadas para o propósito (para os ciclos de autoclave)?	3	3	4	3	3	4	3	1	3	3	3
1.2	A identificação corresponde ao processo atual?	3	3	3	4	3	3	3	4	1	2	4
1.3	A identificação das caixas é visível e clara?	4	3	4	3	3	3	3	5	3	4	3
2	Carrinho dos Componentes											
2.1	A organização do carrinho está conforme o esquema (imagem no verso da folha)?	1	3	3	3	4	3	3	5	3	2	3
2.2	As prateleiras estão organizadas de forma lógica e intuitiva?	3	4	3	4	3	3	5	3	3	2	3
2.3	O carrinho encontra-se junto à bancada de montagem/de corte?	3	3	2	3	1	3	2	3	4	3	3
3	Bancada de Corte											
3.1	A bancada está a ser utilizada para o corte de componentes?	3	2	3	3	3	4	3	4	5	3	3
3.2	A régua da bancada de corte está a ser utilizada?	3	3	4	4	3	3	5	3	1	3	4
3.3	A bancada de corte está organizada e limpa, sem materiais por arrumar?	1	2	3	3	4	3	4	3	3	4	3
4	Cartões de peças por terminar											
4.1	Caso **existam peças por terminar:** O cartão encontra-se junto às peças, e existe uma indicação escrita no CAMI (assinada e datada)?	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
4.2	Caso **não existam peças por terminar:** O cartão encontra-se arrumado na gaveta da documentação?	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
5	Gavetas											
5.1	O conteúdo das gavetas corresponde à respetiva identificação?	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3
5.2	Os materiais dentro das gavetas estão devidamente organizados (dentro dos sacos respetivos, os documentos dentro das micas respetivas)?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

As respostas obtidas foram utilizadas para o desenvolvimento de um gráfico radar que representa a percentagem de cumprimento das novas medidas estabelecidas, sendo que o centro representa o maior nível de criticidade, ou seja, 0% de regras cumpridas durante a fase de standardização destas soluções, e a periferia corresponde à situação ideal de seguimento de todas as melhorias. A título de exemplo, a *Figura 32* ilustra um exemplo aplicado à semana 7 de standardização, que novamente importa salientar que não corresponde à realidade empresarial.

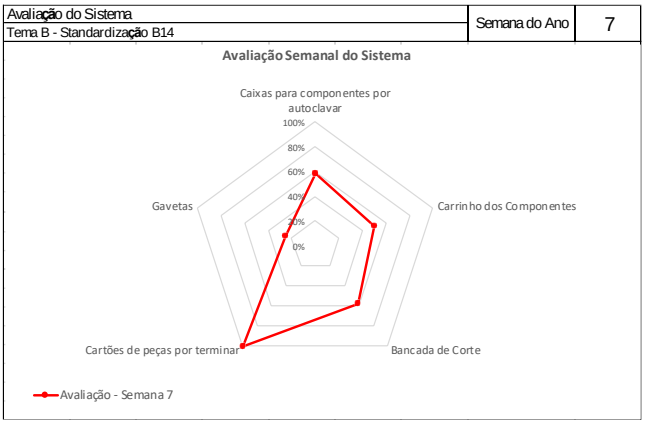


Figura 32 - Gráfico radar aplicado às 5 áreas onde foram implementadas melhorias

Simultaneamente ao preenchimento do questionário ao longo das várias semanas de standardização, é efetuado um histórico de avaliação para as várias áreas em análise, como demonstra a *Figura 33*.

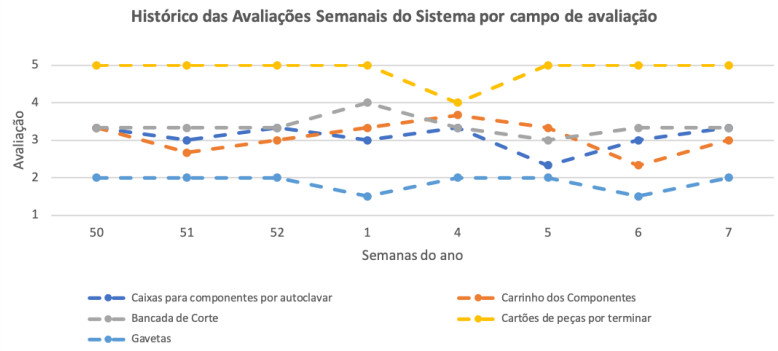


Figura 33 - Histórico das avaliações semanais realizadas às melhorias implementadas na sala Y

Assim, através da visualização gráfica do histórico de avaliações semanais é possível identificar rapidamente as semanas onde os desvios ao valor alvo (100%) são maiores, e atuar em conformidade para que os problemas sejam eliminados.

5.2.4. *Dificuldades no procedimento de logbooks e etiquetas – A3 Problem Solving*

O A3 em questão surge devido à existência de dificuldades no preenchimento dos *logbooks,* e de erros associados ao seu preenchimento (*background* da situação, primeiro campo do *template* A3). De facto, constatou-se que, relativamente às etiquetas de limpeza, há uma notória falta de clareza no modo correto do seu preenchimento, dificultando a interpretação dos campos a preencher, levando a que os operadores as preencham de forma diferente, e originando erros e atrasos associados a esta operação. Detetaram-se, igualmente, dúvidas relativas ao preenchimento de etiquetas relacionadas com a transferência de equipamentos para outras salas ou para manutenção. Relativamente ao preenchimento dos *logbooks*, contabilizou-se um elevado tempo despendido na sua seleção, bem como na localização exata da página e dos campos a preencher. Constatou-se que, tanto os operadores de limpeza como os de produção, desconhecem quais os equipamentos que têm *logbook* e que, por vezes, se esquecem de preencher determinados campos aquando da limpeza da sala.

De seguida, procedeu-se à análise das causas raiz para todos estes problemas encontrados durante a fase de diagnóstico (*Figura 34*), que, apesar de identificados somente para a X e para a Y, descrevem a realidade atual em qualquer unidade de produção da empresa em estudo.

Figura 34 – Causas raiz para a existência de dificuldades no preenchimento de logbooks e etiquetas

Assim, pela análise direta da *Figura 34* conclui-se que os últimos níveis de causa (aqueles aos quais já não é possível atribuir uma causa para a sua ocorrência) para os problemas encontrados são:

- falta de um procedimento para a transferência de equipamentos;
- falta de clareza do procedimento a utilizar no preenchimento das etiquetas;
- inexistência de uma forma de distinção entre os diferentes *logbooks*;
- incompreensão dos campos a preencher pelos operadores da limpeza por se encontrarem somente em inglês;
- similaridade entre os campos a preencher pelos operadores da produção e pelos da limpeza;
- esquecimento do preenchimento de certos campos dos *logbooks*.

Posteriormente, estabeleceram-se as condições alvo a atingir com o colmatar deste desafio. Assim, estabeleceu-se como objetivo **10%** de ocorrência de falhas aquando do preenchimento das etiquetas por parte da Produção, e **50%** por parte dos operadores de limpeza. Redução de **60%** na frequência de incorreções no preenchimento das etiquetas de transferência de equipamentos. Garantir que a transmissão do modo de preenchimento correto das etiquetas é feita por forma a atingir **0%** de erros futuramente. Diminuição do tempo despendido na procura do *logbook* correto e do esquecimento do preenchimento de determinados campos, por parte dos operadores de limpeza (com vista à redução em **100%** destes erros).

Para alcançar os objetivos definidos, elaborou-se um plano de ação (ver *Tabela 11* do *Anexo C*), com base numa série de contramedidas propostas para a resolução do problema em estudo, também presentes na mesma tabela.

Apresentam-se, de seguida, o resultado da implementação de algumas das contramedidas propostas. Para averiguar a pertinência de alguns dos campos de registo destinados à limpeza e repensar a atribuição de *logbooks* a certos equipamentos, começou por realizar-se uma análise extensiva aos 393 equipamentos existentes nas instalações e à necessidade de cada um possuir o seu próprio *logbook.* Na *Figura 35* encontra-se um excerto dessa análise realizada em *excel*, na qual a cor verde indica a já existência de *logbook* para esse equipamento e, a cor laranja, a necessidade de se atribuir um registo na forma de *logbook*.

GI	Equipment	Location	Logbook code	Operação	Limpeza	Manutenção	EM	Análise	Comments
0191	Inverted Microscope	QC	EQ10	yes	yes	yes	no	no	
192	MAS	QC	Não tem						a utilizaçãodeste equipamneto e registada no logbook de EM e no de autoclavgem de peças QC
194	Fill an Finishing Machine	Medinfar	out of order						
195	Water Bath	Production	EQ33	yes	yes	yes	yes	no	
199	Multi Channel Pipette 20-200µl	QC	Não tem						Risco elevado, contacto proximo doproduto em aberto. Deve ter logbook
0200	Micropippette 100-1000µl	QC	Não tem						Risco elevado, contacto proximo doproduto em aberto. Deve ter logbook
0201	Micropippette 0.5-10 µl	QC	Não tem						Risco elevado, contacto proximo doproduto em aberto. Deve ter logbook
0203	orbital agitator plate		Out of order						
0204	Isolator	Production	EQ17	Out of order					
0209	Pipette Boy	QC	Não tem						Risco elevado, contacto proximo doproduto em aberto. Deve ter logbook

Figura 35 - Averiguação da necessidade de atribuição de logbooks aos vários equipamentos

De seguida, realizou-se uma Análise de Risco (*Risk Assessment*) com o intuito de avaliar o risco de um equipamento não possuir *logbook*. Foi desenvolvido um racional para a atribuição de um *logbook* a um

equipamento com base numa seleção de perguntas críticas e na construção de um *Mitigation Plan*. Na *Figura 36* encontra-se representado o método utilizado, que foi validado e replicado para todos os equipamentos existentes nas várias unidades da empresa.

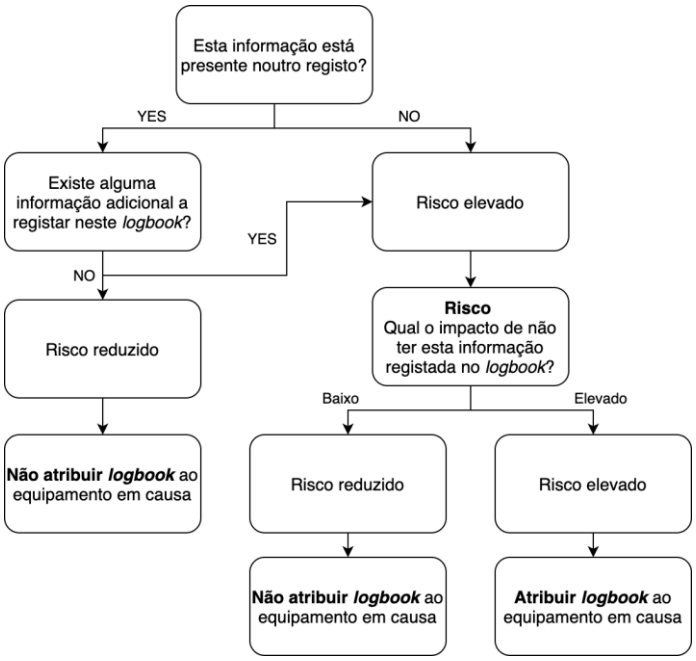


Figura 36 – Raciocínio seguido para determinar a necessidade de um equipamento ter um logbook associado

Com a aplicação desta lógica aos equipamentos, surgiu a necessidade de alocar um *logbook* a um equipamento que anteriormente não possuía e concluiu-se que existem 8 equipamentos que já não necessitam de um registo deste tipo associado.

Com vista à standardização do cabeçalho de todos os *logbooks* dos equipamentos, procedeu-se à uniformização da nomenclatura utilizada. Assim, para qualquer tipo de análise a ser realizada pelo departamento QC, atribuiu-se a designação de *QC Analysis*, as atividades de manutenção e/ou calibração passam a ser designadas unicamente por *Maintenance/Calibration* (evitando a existência de 5 campos distintos: *Maintenance, Calibration, Maintenance Activities, Calibration Activities, Maintenance/Calibration*), e o processo passa a chamar-se somente de *Manufacturing*. Para além destas simplificações, colocaram-se os campos dos *logbooks* destinados à limpeza, em português e em inglês (*Figura 37*).

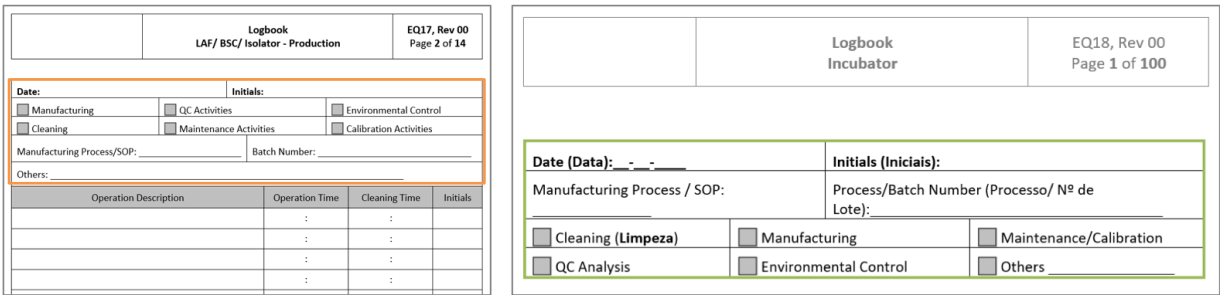


Figura 37 - Exemplo ilustrativo das alterações feitas ao logbook de um equipamento (o antes, e o depois)

Relativamente ao *logbook* de cada sala (*Figura 38*), também foram efetuadas diversas alterações. Os campos a assinalar foram colocados por ordem decrescente de utilização, por forma a acelerar o seu preenchimento. Os campos a preencher pelos operadores de limpeza foram colocados também em português para facilitar a sua compreensão.

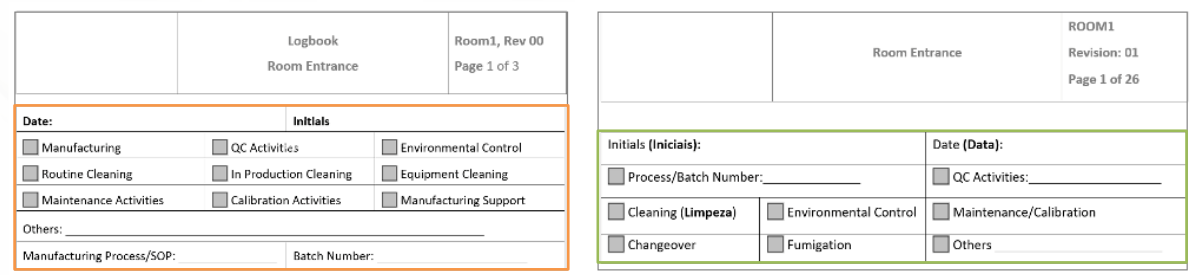


Figura 38 - Alterações efetuadas aos logbooks de sala, o antes e o depois

A standardização de todos os *logbooks* e respetiva atualização de cabeçalhos encontra-se em fase de desenvolvimento, tendo estes sido divididos pelos vários operadores.

Com o intuito de colmatar o elevado tempo despendido na procura da página e dos campos a preencher em cada um dos *logbooks*, colocou-se um marcador em cada um deles, tal como demonstra a *Figura 39,* e replicou-se esta lógica para todos os *logbooks* de todas as salas da empresa. Não existiu uma fase de standardização desta medida dado que foi algo recebido com recetividade por parte dos operadores e a sua aplicação foi imediata e transversal a todas as unidades presentes na empresa.

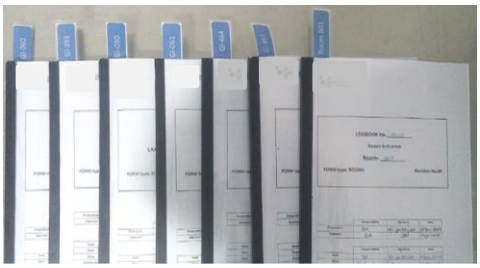


Figura 39 - Exemplo ilustrativo de um marcador colocado num logbook da sala Y

Tal como anteriormente mencionado, uma das causas raiz deste problema residia na dificuldade em preencher as etiquetas brancas de operação, associadas a cada equipamento (*Figura 40*). De facto, o procedimento não era claro e suscitava dúvidas e incoerências aquando do preenchimento. Sempre que se iniciava um processo, todos os equipamentos teriam de ter, obrigatoriamente, uma nova etiqueta de operação, quer fossem (campo "*Last used in"* da etiqueta) ou não utilizados (campo "*Present but not used"*), com o registo de todo o histórico da sua utilização em todos os processos anteriores. Este procedimento originava um elevado tempo despendido na transcrição de toda a informação e uma acumulação significativa de etiquetas antigas, para cada um dos equipamentos.

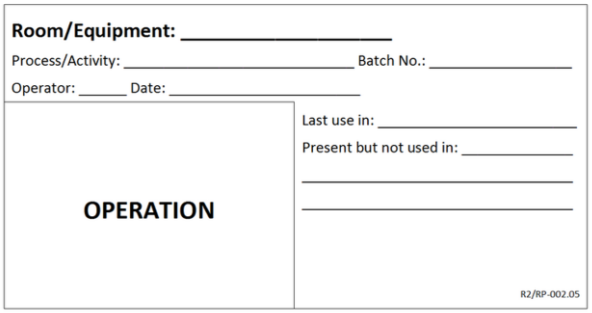


Figura 40 - Versão inicial de uma etiqueta branca de operação de um equipamento

Para colmatar estas dificuldades, desenvolveu-se uma nova etiqueta de operação, composta por três áreas distintas. A zona azul na *Figura 41* corresponde à identificação da sala, do equipamento e do processo. Na zona verde, deve ser colocada a etiqueta vermelha "*For Cleaning"* no final do processo e, posteriormente e por cima desta, a etiqueta verde com a indicação de "*Clean*", devidamente identificada, pelo operador de limpeza. Por último, o lado direito da etiqueta encontra-se reservado ao registo das atividades/lotes anteriores em que o equipamento em causa não foi utilizado, com o intuito de avaliar a sua utilidade no interior da sala, para aquele tipo de processos. Quando o registo ultrapassar as sete atividades, deverá utilizar-se uma nova etiqueta branca de operação, assinalando no local "*Page*" que se trata da segunda etiqueta daquele equipamento, e armazenar a primeira etiqueta num arquivo adequado.

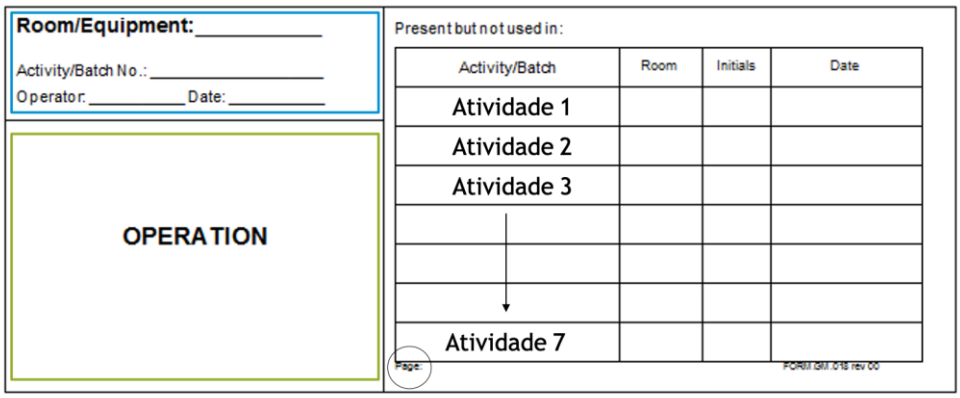


Figura 41 - Nova versão da etiqueta branca de operação de um equipamento

Estas alterações efetuadas evitam que operador esteja constantemente a transcrever a informação de uma etiqueta antiga para uma nova, sempre que se inicia um processo. Para além disto, sempre que um equipamento é transferido de sala, faz-se acompanhar do seu histórico e permite uma análise futura à sua utilização de uma forma mais eficaz.

Por forma a garantir a compreensão por todos os operadores, realizaram-se diversos exercícios de simulação de preenchimento de etiquetas, para diversos casos possíveis, durante uma reunião da equipa de Produção. Ainda assim, e após diversas avaliações semanais, a standardização do novo modo de preenchimento das etiquetas não foi linear, tendo se constatado o aparecimento de um número significativo de etiquetas mal preenchidas. Foram necessárias várias sessões de

esclarecimento sobre este assunto e implementou-se uma reunião semanal de 30 minutos, transversal a todos os QW e A3 realizados, onde é feito o ponto de situação face à semana anterior e na qual se expõem os problemas mais críticos ocorridos durante a presente semana.

5.2.5. *Inúmeras entradas e saídas das salas devido à falta de material – A3 Problem Solving*

Ao longo do diagnóstico, observou-se que ocorrem inúmeras entradas e saídas da sala durante o processo, em ambas as salas analisadas. Os objetivos e as contramedidas propostas para este problema foram desenvolvidos somente para a sala X, visto ter sido a sala onde a sua frequência se revelou mais significativa, aquando do diagnóstico realizado.

Apesar de nesta dissertação se apresentar somente o diagnóstico referente aos problemas recorrentes na sala Y, dada a transversalidade deste problema a todas as unidades da instalação, e dado que uma das ideias de sensorização propostas nesta dissertação se relaciona com o número elevado de entradas e saídas da sala, optou-se por analisar detalhadamente este desafio, mesmo que aplicado à sala X.

Para iniciar a análise, começou por identificar-se o *background* da situação, onde se constatou a falta recorrente de materiais necessários às pesagens e limpeza da sala X, nomeadamente, de funis, pás, espátulas e de desinfetante. Para além destes utensílios, também se verificou a escassez de material de vestuário no interior da sala, com especial destaque para as luvas, que facilmente se rasgam e cuja substituição tem que ser imediata, de acordo com as GMP estabelecidas pela empresa.

Dado que os operadores só se apercebem da falta de um material específico durante a pesagem, o processo tem que ser constantemente interrompido por saídas da sala para efetuar a recolha do material necessário, que se encontra no armazém. Em certos casos, não é necessária a saída do operador da sala de pesagens, caso haja um operador no corredor que esteja disponível para a recolha. No entanto, em qualquer dos casos, há sempre interrupção do processo e um elevado tempo despendido nesta atividade que não acrescenta valor ao produto.

Assim, através de reuniões realizadas com a equipa interna responsável por este A3 (*Figura 42*), determinaram-se as causas raiz para estes problemas com o intuito de desenvolver contramedidas para as colmatar, e alcançar, posteriormente, os objetivos definidos.

Figura 42 - Reunião semanal com a equipa responsável pelo A3 em análise

A equipa responsável, juntamente com a equipa de consultoria externa, estabeleceu um conjunto de condições alvo a atingir com a resolução deste desafio. Comprometeram-se a alcançar **0%** de ocorrência de falta de material no interior da sala e, por isso, **0%** de paragens durante as pesagens e tempo despendido nesta ação. Posteriormente, definiu-se um conjunto de 6 contramedidas para colmatar os últimos níveis de causa identificados, que se encontram calendarizadas no plano de ação apresentado na *Tabela 12* do *Anexo C*.

Ficou decidido na reunião dos gestores de projeto que as contramedidas referentes à inclusão da lista de material necessário à pesagem na lista de recolha, bem como a existência de um aviso visual relativo ao aproveitamento dos 30 minutos de espera pela operacionalidade da LAF (cabine de fluxo laminar utilizada para a realização das pesagens), não iriam ser implementadas por não ter existido uma boa receção a ambas as ideias, tanto por parte dos PM como pelos operadores de Produção.

O problema da inexistência de luvas de substituição no interior da sala foi rapidamente colmatado. Cada operador passou a levar um par de luvas extra, aquando do início de um novo processo de pesagem.

Definiu-se um *stock* mínimo de material necessário às pesagens das matérias-primas, que se encontra descrito na *Tabela 4*. Este *stock* foi definido em conjunto com o diretor de operações e foi baseado na experiência dos operadores, dado que não existe nenhum histórico relativo à existência de materiais no interior das salas.

Tabela 4 - Stock mínimo de materiais a armazenar no interior da sala X

Materiais	Quantidade mínima	Quantidade máxima
Funis pequenos	1 pack	4 packs
Funis grandes	1 pack	5 packs
Espátulas compridas	20	30
Espátulas grandes e quadradas	5	10
Espátulas pequenas e quadradas	5	10
Pipetas de 10 mL	-	1 pack
Pipetas de 50 mL	-	1 pack
Tubagem – 8 tubos de 1,80 m	4	12

Durante a fase de standardização desta medida foram feitas reuniões semanais por forma a analisar a viabilidade deste *stock*, tanto relativamente à sua quantidade mínima, como à sua quantidade máxima de materiais auxiliares à pesagem. Estes pontos de situação foram, igualmente, cruciais sobre o ponto de vista do prazo de validade de cada material, visto que muitos dos materiais indicados apresentam prazos relativamente curtos.

De seguida, procedeu-se à identificação de todas as caixas presentes no interior da sala, respeitantes aos materiais utilizados como auxílio às pesagens. Com o intuito de garantir que o *stock* mínimo anteriormente definido é respeitado, recorreu-se à utilização dos cartões *Kanban*, em cada uma das caixas, por forma a alertar o operador quando for necessário repor o *stock*. Quando o cartão se torna

visível no interior da caixa, o operador coloca-o na porta da sala para que o *stock* possa rapidamente ser reposto por algum operador de produção ou, em última análise, imediatamente antes do início do processo seguinte. As duas melhorias implementadas encontram-se ilustradas na *Figura 43*.

Figura 43 - Cartões Kanban e identificação das caixas dos utensílios

A utilização dos cartões *Kanban* permitiu, também, colmatar outro problema frequente com estes materiais: existem duas categorias distintas de espátulas grandes, com preços bastante diferentes, que só são distinguíveis pela sua referência. Ora, o facto de o cartão conter um campo destinado à referência do material, evita eventuais trocas de espátulas e diminui os custos associados a esta possível mistura, com consequente redução de custos para a empresa.

Assim, após realizada a análise à standardização das várias melhorias implementadas, é possível constatar que a maioria das soluções foi bem aceite e cumprida por todos os operadores. De facto, para analisar o impacto das melhorias implementadas ao processo de montagem das peças, realizaram-se cinco observações à mesma peça. Constatou-se que houve uma redução de 88% do tempo despendido em atividades melhoráveis, e de 97% em atividades com valor não acrescentado. O tempo médio de operação reduziu em cerca de 56%. Com a utilização das caixas para efetuar a separação de componentes por ciclo, houve uma redução de 25% no tempo despendido nesse processo. Relativamente ao preenchimento das etiquetas, propôs-se a condição alvo a atingir de 0% de falhas no seu preenchimento. Apesar de terem sido detetados alguns erros nas etiquetas no início dos processos, as falhas foram substancialmente reduzidas com a aplicação das contramedidas, estando agora a 5,4% do valor alvo. A utilização de marcadores para os *logbooks* permitiram reduzir 92% do tempo despendido na procura do local correto para iniciar o registo.

Todavia, constatou-se que certas medidas exigiram mais atenção por parte dos especialistas externos, e um acompanhamento semanal significativo, com um elevado tempo despendido nas sessões de esclarecimento efetuadas e nos sucessivos registos de avaliação ao sistema. Com base nesta reflexão, surgiu a necessidade de avaliar a existência de sensorização no apoio ao controlo da standardização das várias melhorias, tornando-o automático, constante, mais eficiente e dispensável de auditorias externas recorrentes.

6. Standardização das soluções

6.1. Estabilidade na standardização das operações

Tal como já referido na secção *Revisão Bibliográfica*, a melhoria contínua deve estar presente na cultura de todo o contexto empresarial, desde a gestão de topo até ao chão de fábrica. De facto, é importante que todas as melhorias implementadas sejam devidamente standardizadas, ou seja, garantir que o procedimento definido é cumprido de forma idêntica pelo mesmo executante e entre executantes. Para isso têm de ser acompanhadas de um esforço contínuo e diário, a fim de evitar retrocessos à situação inicial, com consequências negativas para a empresa e para a motivação de todos os colaboradores.

No presente caso de estudo, foi possível verificar uma certa relutância à mudança por parte dos operadores, aquando da implementação de algumas das melhorias. De facto, na realidade atual do setor industrial, ainda é possível observar-se uma certa resistência, desvalorização e incompreensão dos vários elementos das empresas face à importância destas melhorias para o processo. Isto leva a que, apesar de responsáveis pela sua monitorização, voluntariamente não cumpram com os procedimentos associados à standardização, ou que simplesmente se esqueçam de os executar.

Perante esta dificuldade, surgiu a necessidade de desenvolver uma metodologia que permitisse apoiar a empresa no controlo autónomo e automático das melhorias implementadas, com vista à estabilidade da standardização. Esta metodologia ajuda a que seja possível, numa abordagem geral ao processo, que qualquer nível hierárquico da organização possa auditar rapidamente as soluções implementadas, sem necessidade de auditorias externas periódicas, morosas e com custos associados. Para assegurar a autonomia destas auditorias, foram idealizadas quatro propostas de sensorização por forma a permitir que as melhorias implementadas sejam continuamente monitorizadas, através da medição em tempo real de certos valores críticos para a eficiência do processo.

Para além deste objetivo, as ideias de sensorização ainda permitem que, no futuro, os diagnósticos realizados a fluxos de produção possam ser auxiliados e reforçados, através da obtenção de dados em tempo real, e não baseados somente num número relativamente pequeno e localizado no tempo de observações realizadas.

6.2. Sensorização da sala Y – Propostas idealizadas

Na impossibilidade de implementar estas propostas na empresa onde foi realizado o diagnóstico, pelos custos que acarreta e pelo tempo que seria necessário para que todas as propostas fossem implementadas e testadas, foi desenvolvida uma maquete representativa da sala Y. Para além desta maquete desenvolveu-se uma outra ilustrativa de uma gaveta de um dos módulos existentes no interior

da sala, a fim de ilustrar o modo de funcionamento dos vários sensores. A *Figura 44* pretende ilustrar o processo de construção das maquetes referidas.

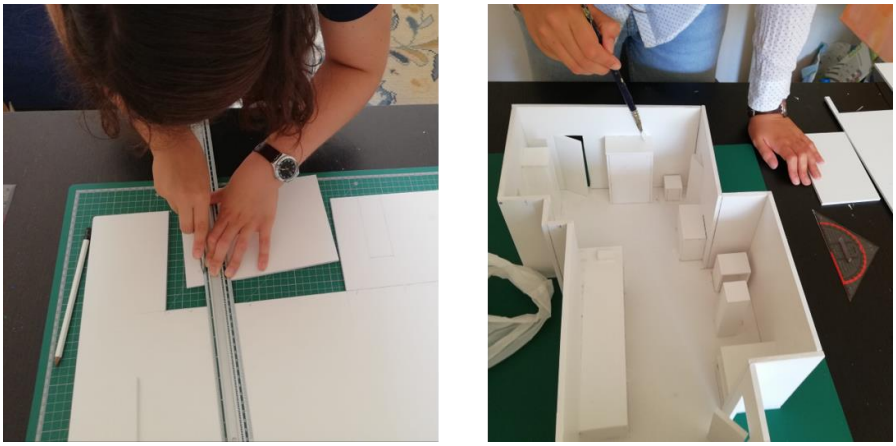


Figura 44 - Fase de construção e pintura das maquetes

As propostas apresentadas foram desenvolvidas e instaladas nas duas maquetes construídas, como instrumento elucidativo da importância da Indústria 4.0 e de alguns componentes que a caracterizam, tanto para a deteção e impacto dos problemas como para, num dos casos, evitar que estes aconteçam.

Estas maquetes sensorizadas (*Figura 45*) foram concebidas como modelo explicativo destinado a empresas que possuam um baixo (ou nulo) nível de maturidade em I4.0, e uma baixa recetibilidade a estes conceitos, permitindo ilustrar que, através de um investimento relativamente reduzido, se consegue identificar, de forma eficiente e em tempo real, diversos aspetos críticos no fluxo de produção.

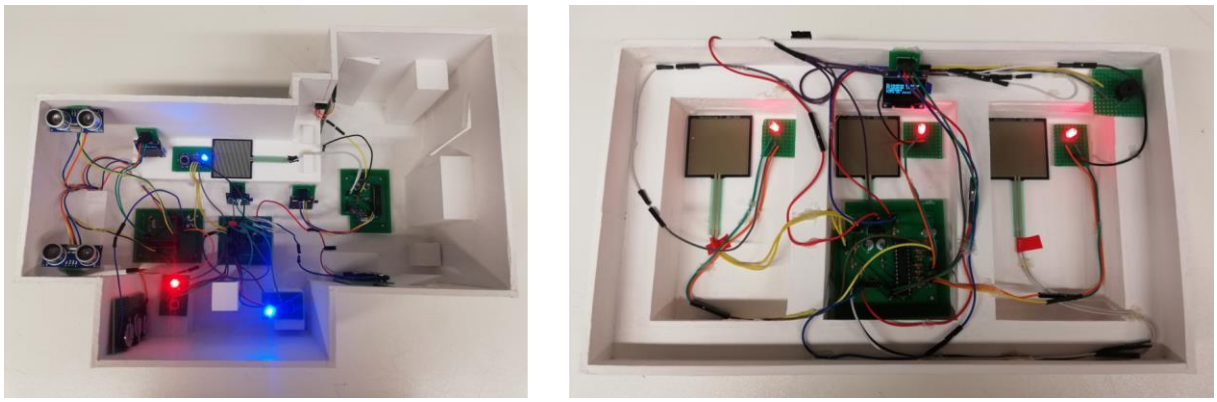


Figura 45 - Maquetes finalizadas, vistas de cima

A **primeira** proposta baseia-se na quantificação do tempo de espera de uma peça, em tempo real, face ao respetivo tempo total de produção. De facto, tal como referido na secção 4.1.2 *Problemas identificados e respetivos níveis de causa*, os tempos de espera representam **39%** do tempo total despendido na montagem e embalamento de uma peça.

Assim, o objetivo da primeira proposta prende-se em cronometrar, em tempo real, o tempo de espera de uma peça até voltar a ser manuseada (montada ou embalada). Esse tempo aparecerá num pequeno LCD – *Liquid Crystal Display* – presente na maquete e, teoricamente, apareceria, em tempo real, num *dashboard* existente no exterior da sala. Isto permitiria o acesso imediato por parte dos PMs a esses

dados, para que possam ser tomadas medidas caso esses tempos se revelem extremamente elevados. Dado que a programação necessária para a projeção desse *dashboard* não se encontra no âmbito desta dissertação, apenas foram idealizados o *layout* e os constituintes do mesmo, tal como é visível na secção 6.3 *Dashboard – Exemplo prático*.

Esta proposta assenta no *design principle* da I4.0 denominado **transparência na informação**, ao permitir o acesso em tempo real aos dados obtidos durante o processo através do *dashboard*, e por todos os níveis da organização. Por outro lado, a análise cuidadosa destes dados impulsiona a procura de mecanismos para auxiliar o operador na redução destes tempos de espera e na otimização do processo pelo que, indiretamente, este conceito pode também ter como base o *design principle* – **assistência técnica**. Para além dos dois *design principles* referidos, esta proposta de sensorização permite ainda **decisões descentralizadas**, visto que o operador consegue decidir em tempo real o que fazer para contornar o problema dos tempos de espera elevados.

A **segunda** proposta surge com o intuito de contabilizar, novamente em tempo real, as inúmeras saídas e entradas na sala, que constituem atividades que não geram valor acrescentado para o produto final, e que devem ser reduzidas ou, se possível, totalmente eliminadas. Aquando da idealização da proposta, foram tidas em conta duas alternativas: um sensor de ultrassons ou um sensor laser. Inicialmente, optou-se por adquirir dois sensores laser para colocar na maquete, um para a porta de entrada de pessoas e outro para a de saída, em que cada um iria contabilizar uma passagem por parte do operador, aquando da interseção do feixe. No entanto, os sensores deste tipo possuem um alcance mínimo de 20 cm pelo recetor pelo que, dada as reduzidas dimensões da maquete, foi necessário optar pelos sensores de ultrassons, que apesar de menos precisos e sensíveis a eventuais reflexões, funcionam para um alcance menor e acarretam menos custos para o utilizador. Todavia, e pela mesma razão do alcance menor dos ultrassons, não foi possível colocá-los direcionados para as portas de entrada e saída da maquete, visto que o feixe seria constantemente interrompido pela parede oposta da maquete. Assim, os sensores foram colocados com a direção do feixe oposta à do chão da maquete (visível na *Figura 45*, à esquerda), e cada entrada e saída é ilustrada pelo próprio utilizador, interrompendo o feixe com a sua própria mão.

No LCD associado a esta proposta serão registadas as horas de entrada e de saída da sala pelos operadores, sendo que a primeira hora registada corresponde ao início do processo e a última ao seu término. Assim, para além destes dados é possível calcular a duração de cada saída (atividade sem qualquer valor acrescentado para o produto) apresentados na terceira coluna e, no final, é possível obter-se o tempo total de VNA (Valor Não Acrescentado) em entradas e saídas da sala, o tempo total do processo e, relacionando estes dois dados, calcular a percentagem de valor não acrescentado do conjunto destas atividades.

Importa salientar que os valores apresentados no ecrã disposto na maquete servem unicamente para ilustrar o que poderia suceder num caso real, não representando nenhuma situação observada aquando do diagnóstico. O acesso aos dados no exterior da sala, é novamente feito com o recurso ao *dashboard* já mencionado. Neste, tal como no LCD, para além de se registar o número de passagens,

apresenta-se também a hora a que cada uma é efetuada, com o intuito de posteriormente se efetuar o cálculo do tempo despendido nesta atividade.

Devido à semelhança com a proposta anterior, a segunda proposta assenta igualmente nos princípios da **transparência na informação**, na **assistência técnica** e nas **decisões descentralizadas**.

O **terceiro** conceito pretende simular uma sensorização de uma ferramenta Lean tradicional, os 5S, originando, por isso, uma espécie de um "e-5S". O objetivo é garantir a eficácia na organização de uma das gavetas presentes na sala, onde são guardados os diversos registos utilizados durante o processo. Para além disto, permite alertar para a ausência temporária dos registos dos locais adequados ou, em última análise, para a sua falta (problema identificado como frequente aquando do diagnóstico) e para a necessidade de reposição de *stock*.

Para facilitar a compreensão deste conceito, foi desenvolvida uma maquete representativa de uma gaveta, onde foram identificados os locais destinados para cada tipo de registo: etiquetas de operação, *logbooks* e etiquetas de limpeza. Na maquete foram instalados os sensores de contacto em cada um dos locais, permitindo detetar a presença dos registos, e um LED (*Light Emitting Diode*). Este LED permanece azul enquanto o sensor estiver a ser pressionado e passa a vermelho quando ocorre o oposto. A *Figura 46* demonstra a mensagem que aparecerá no LCD caso todos os registos estejam fora do local adequado.

Figura 46 - Exemplo de uma mensagem de alerta ao operador

Para além de uma sinalização visual, instalou-se um *Buzzer*, componente eletrónico que emite um sinal sonoro, neste caso, quando o sensor de contacto não está a ser atuado ao fim de alguns segundos (indica que os tempos de registo manual estão muito elevados ou que é necessário repor o *stock*, tratando-se, por isto, de uma solução do tipo *Poka-yoke*). Idealmente, o sinal sonoro só deveria soar ao fim de um tempo significativo, cerca de 10 minutos, mas visto tratar-se somente de uma maquete ilustrativa do conceito, este soará ao fim de poucos segundos. Quando os registos são repostos novamente nos locais apropriados, o *Buzzer* pára de emitir o sinal sonoro e o LED deixa de emitir luz vermelha, passando a azul.

Os *design principles* que melhor caracterizam este tipo de sensorização são a **assistência técnica**, ao alertar diretamente o operador para o elevado tempo despendido nos registos, permitindo que este atue imediatamente em conformidade, e a **interconectividade**, ao permitir a passagem contínua e em tempo real de informação, através da forte conexão existente entre os sensores e os colaboradores. A **transparência na informação** também está presente nesta proposta ao permitir que todos os níveis

da organização tomem conhecimento, em tempo real, caso seja necessário repor o *stock* ou caso os tempos de registo estejam significativamente elevados.

A **quarta** proposta permite identificar visualmente todos os equipamentos presentes no interior da sala, tanto os que se encontram limpos, como os que estão por limpar. Um dos problemas identificados durante o diagnóstico e colmatado com a utilização desta proposta, é a incerteza no número de equipamentos existentes no interior da sala, originando, em última instância, atrasos na produção, caso algum equipamento tenha ficado por limpar.

Para a conceção desta proposta é necessário inserir um LED em cada um dos circuitos, associado a cada equipamento: o LED deve acender a luz azul quando o equipamento é limpo, e a vermelha, quando o equipamento se encontra por limpar. Para que o LED acenda, é necessário a interação entre o mecanismo e o operador, com recurso a um botão, igualmente instalado no circuito, que deve ser pressionado pelo operador da produção ou pelo da limpeza, caso o objetivo seja acender o LED vermelho, ou o azul, respetivamente. Para além da indicação dos LEDs relativa ao estado de limpeza dos aparelhos, foi ainda instalado no circuito um LCD que permite ao utilizador visualizar o número de equipamentos que se encontram limpos, face ao número total de equipamentos existentes no interior da sala. Para a presente proposta, optou-se por realizá-la apenas para 3 equipamentos, dado verificar-se suficiente para a compreensão do seu propósito, evitando sobrecarregar a maquete desnecessariamente.

Esta solução do tipo *Poka-yoke* permite identificar, de uma forma visual e intuitiva, o número de equipamentos dentro da unidade e o seu respetivo estado de limpeza, evitando esquecimentos e consecutivos atrasos no processo seguinte. Este sensor também reflete três *design principles* de extrema importância. O primeiro é a **descentralização de decisões**, dado que permite ao operador de limpeza tomar a decisão, sem qualquer dúvida, de limpar o equipamento quando a este está associado um LED vermelho. O segundo trata-se da **assistência técnica**, ao permitir que o operador saiba exatamente o número de equipamentos que constam no interior da sala. Por último, reflete a **transparência na informação**, visto que o estado de limpeza de todos os equipamentos pode ser comunicado ao exterior através do *dashboard*, permitindo ao responsável pela limpeza agir em conformidade, caso se verifique alguma anomalia, sem comprometer, deste modo, o planeamento das produções seguintes.

6.3. *Dashboard* – Exemplo prático

Um dos focos desta dissertação é precisamente a importância da digitalização nas tomadas de decisão e no “dia-a-dia” de uma unidade fabril, mesmo em empresas onde ainda há uma elevada incidência de trabalho manual, sem recolha automática de dados, e onde o receio por investimentos avultados é uma realidade.

A digitalização é abordada nesta tese de mestrado como um mecanismo que garante a chegada dos dados obtidos durante o processo, em tempo real, aos gestores de projetos e também aos restantes níveis da organização. Apesar de no âmbito desta dissertação a digitalização ser somente ilustrativa,

isto é, não ter sido aplicada num caso real, demonstra que a gestão visual e virtual continua a provar tratar-se de um método eficaz e eficiente, estimulando a comunicação entre os vários departamentos de uma empresa.

Com base no fluxo de informação obtido com a implementação dos sensores acima descritos, e tal como já referido, desenvolveu-se um exemplo de um *dashboard* que contém, de uma forma estruturada e visualmente apelativa, diversos indicadores de desempenho do processo.

Sintetizando, o painel de bordo em causa deve conter, em tempo real, os seguintes dados:

- Tempos de espera por peça;
- Número de entradas e saídas da sala e respetiva duração;
- Estado de limpeza do equipamento (se está limpo ou se encontra por limpar);
- Número de componentes já completos, por ciclo de autoclave;
- Percentagem de ciclo já completa;
- Secção de observações, onde são geradas automaticamente notificações, por exemplo, falta de *stock* de registos manuais (etiquetas).

A *Figura 47* ilustra o *layout* do painel de bordo, na sua totalidade, desenvolvido para o presente caso de estudo. As seis secções do *dashboard* encontram-se representadas detalhadamente no *Anexo D.*

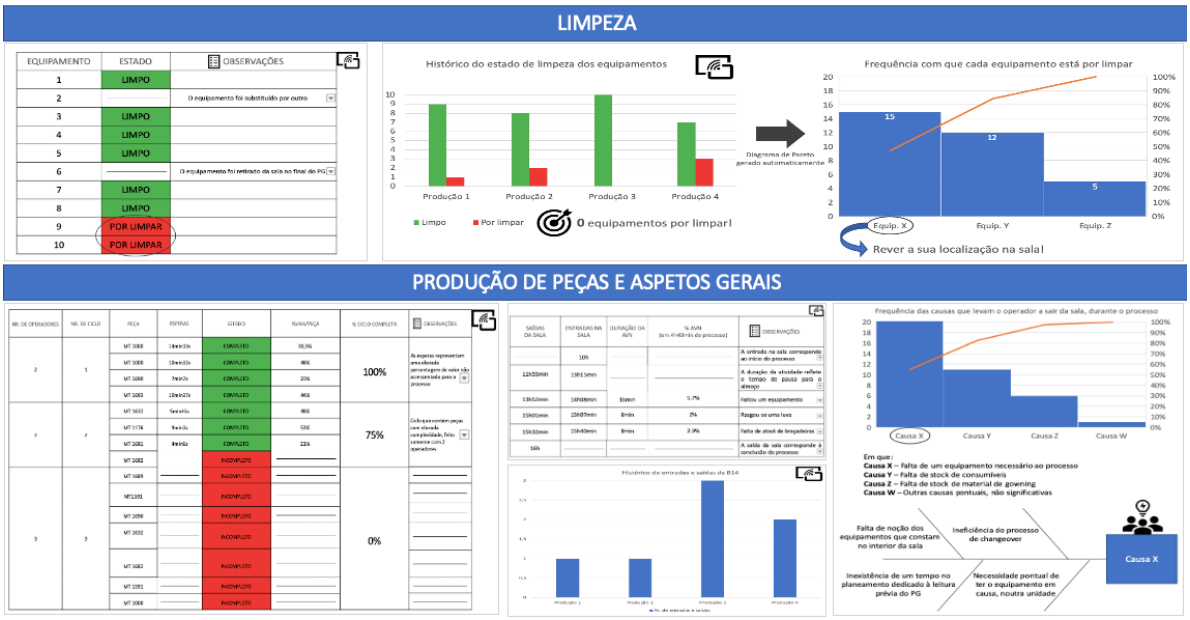


Figura 47 - Dashboard desenvolvido para monitorização das melhorias implementadas na sala Y

Importa salientar que, com exceção dos tempos de espera para cada tipo de peça, todos os outros valores indicados neste *dashboard* não são representativos de nenhum processo ocorrido na sala Y, pretendendo somente ilustrar uma forma de retirar partido dos dados obtidos pela sensorização proposta. Ambos os Diagramas de Pareto são gerados de 20 em 20 processos, número este também representativo de um histórico significativo, mas unicamente ilustrativo.

Assim, este painel de bordo interativo, constituído pelos indicadores-chave de desempenho (valores atuais e valores alvo de cada um), funciona como uma ferramenta de gestão. Permite-nos concluir quanto ao estado da organização, de um sistema ou, no presente caso, de um departamento, tanto em termos quantitativos como qualitativos, acelerando o processo de decisão.

Com o recurso à informação apresentada no *dashboard* de apoio, é possível realizarem-se auditorias internas às melhorias implementadas de uma forma automática e contínua, dispensando a presença periódica de um auditor interno ou externo à empresa. No fundo, a decisão é tomada pelo operador em tempo real, sempre que ocorrem desvios aos valores alvo estabelecidos, através de ações corretivas, e a longo prazo preventivas, que garantem o retorno à estabilidade da standardização dos procedimentos. Isto permite evitar retrocessos à situação pré-diagnóstico, com consequências drásticas para a eficiência do processo. Assim, o operador consegue, de forma autónoma, consciente e imediata, escolher a solução adequada, com base em ferramentas Lean, tradicionais ou apoiadas pela digitalização, contribuindo desta forma para a evolução do Lean para o Lean 4.0.

Realizou-se uma estimativa dos **custos** associados à implementação dos sensores e do *dashboard*, extrapolada para o caso real, tanto da sua aplicação na sala em estudo, como nas outras sete unidades de produção existentes na empresa. A exposição dos custos encontra-se mencionada no *Anexo E* da presente dissertação.

6.4. Metodologia desenvolvida – Lógica de formulação

Neste subcapítulo apresenta-se a metodologia desenvolvida, aplicável ao presente caso de estudo. No entanto, pretende-se com a dissertação universalizar a metodologia, isto é, torná-la aplicável a qualquer fluxo de produção. Para isso, é essencial começar por detalhar a lógica de desenvolvimento e formulação desta metodologia.

Tal como já referido por diversas vezes ao longo desta dissertação, a presente metodologia pretende auxiliar na standardização de melhorias implementadas num determinado fluxo de produção. O sistema desenvolvido com esta metodologia funciona, no fundo, como um sistema de apoio à lógica presente num ciclo SDCA, já referido na secção *Revisão Bibliográfica*, e numa adaptação de um ciclo PDCA, com inserção de um sistema de sensorização. A sua aplicação ajuda na padronização eficiente das soluções de melhoria, com uma constante verificação do seu cumprimento, através da avaliação dos resultados obtidos, e com pontuais ajustes ao novo método, caso ocorram desvios ao valor alvo.

A lógica para a formulação desta metodologia, aplicável a qualquer fluxo de produção, baseia-se na aplicação de um ciclo PDCA seguido de um ciclo SDCA adaptados (*Figura 48* e *Figura 49*, respetivamente).

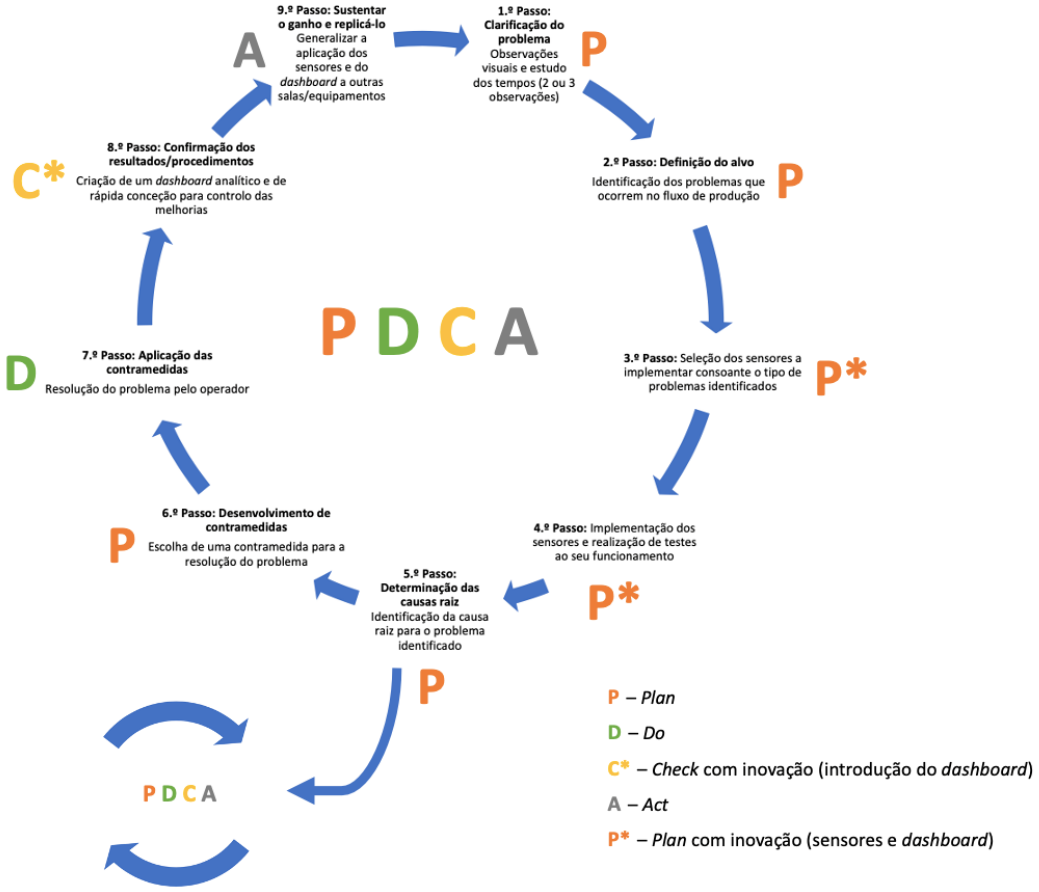


Figura 48 - Primeira parte da metodologia - Ciclo PDCA adaptado

O ciclo PDCA representado é composto por um conjunto de nove passos realizados de forma sequencial, que é iniciado pelas observações visuais e estudo dos tempos, e termina na extrapolação deste procedimento para outras salas e/ou equipamentos. O terceiro e quarto passo consistem num acrescento de sensorização ao ciclo PDCA tradicional, com o intuito de reforçarem o diagnóstico realizado por auditores (ser humano) e, posteriormente, auxiliarem na estabilidade da standardização das melhorias implementadas. Ainda relativamente ao quarto passo, a realização de testes deve ser feita regularmente durante um determinado período de tempo, de uma semana a um mês, consoante o nível de complexidade dos sensores implementados. Para a realização do quinto passo, é fundamental a convocação de uma reunião geral com todos os colaboradores para que, em conjunto, possam determinar a causa raiz para o problema identificado. Cada problema identificado terá a sua causa raiz associada (é neste passo que se geram novos ciclos PDCA, tantos quanto necessários!). À semelhança do passo anterior, para o passo 6 é necessário que os vários operadores da organização, em conjunto com os auditores, se reúnam para se definir criteriosamente a contramedida para a resolução do problema. O sétimo passo do ciclo prende-se com a implementação das contramedidas/melhorias.

Relativamente ao oitavo passo da metodologia, é essencial criar um *dashboard* que contenha indicadores de desempenho que se relacionem com os problemas identificados durante as observações realizadas. Ainda no *dashboard*, é necessário estabelecer valores alvo a atingir para cada

indicador. Depois de validada a metodologia para um fluxo de produção específico, segue-se o último passo do ciclo PDCA apresentado na *Figura 48* que se prende com a sustentação do ganho e a replicação da lógica para outras máquinas ou salas existentes na empresa.

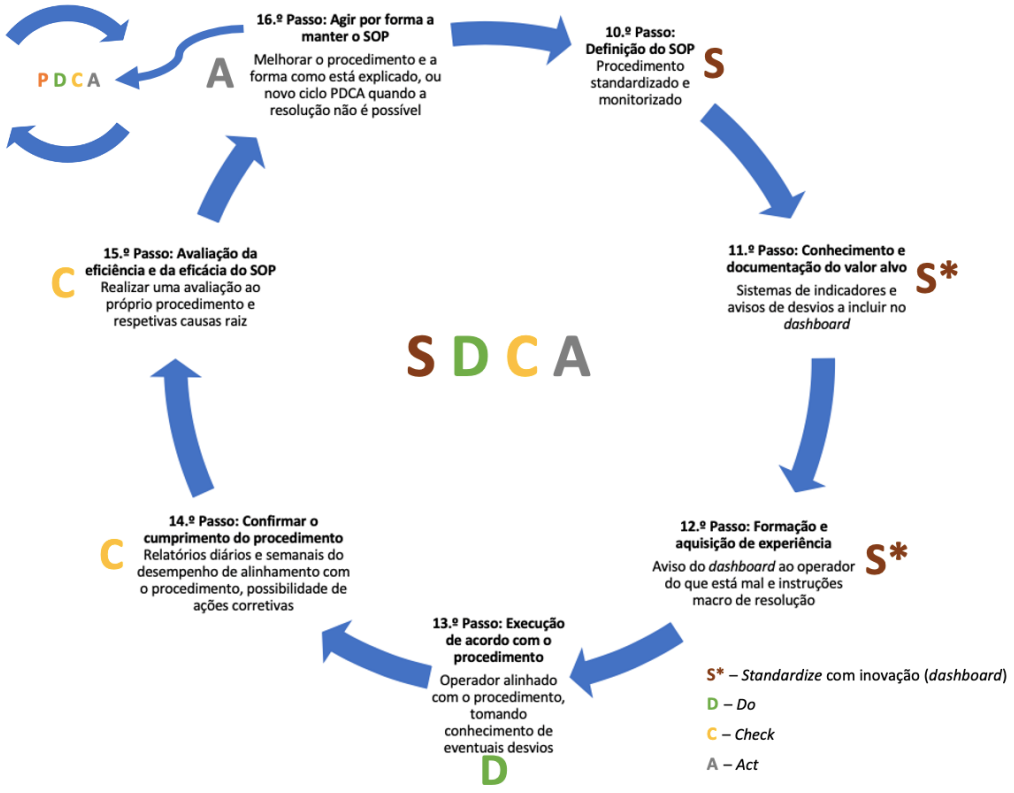


Figura 49 - Segunda parte da metodologia - Ciclo SDCA adaptado

O ciclo SDCA representado na *Figura 49* pretende traduzir as várias etapas que compõe o controlo das melhorias implementadas e do procedimento geral (SOP – *Standard Operating Procedure*). Para isso, recorre-se aos dados obtidos em tempo real pelos sensores e à análise efetuada pelo *dashboard.* O operador ao ser notificado pelo *dashboard* consegue corrigir de imediato o problema, através de instruções macro de resolução, e retornar à estabilidade da standardização da melhoria em questão. Para garantir o cumprimento de todo o procedimento é importante realizarem-se frequentemente relatórios de desempenho que possam despoletar eventuais ações corretivas. Eventualmente, caso surja uma situação em que o operador não consegue autonomamente resolver o problema, é necessário um novo ciclo PDCA para determinação de uma nova contramedida.

Em jeito de conclusão, com a implementação destes dois ciclos apresentados nas *Figura 48* e *Figura 49* pela ordem indicada, consegue-se não só o apoio necessário ao controlo da standardização das medidas, como o reforço do diagnóstico realizado através de observações presenciais realizadas pelos auditores. O aumento da credibilidade do diagnóstico é garantido visto que os sensores instalados permitem a obtenção de dados em tempo real, e numa quantidade muito superior àqueles que são obtidos por avaliadores e, por isso, mais próximos daquilo que é a realidade.

6.4.1. *Metodologia aplicada ao caso de estudo*

Para o presente caso de estudo, a ideia da sensorização surgiu posteriormente à realização do diagnóstico. Assim, os sensores desenvolvidos para este caso em particular, não pretendem reforçar o diagnóstico previamente realizado, mas sim monitorizarem a padronização das melhorias implementadas, no fundo, realizar a parte do ciclo SDCA presente na *Figura 49.* No fundo, estabelecendo uma analogia com a metodologia apresentada nas *Figura 48* e *Figura 49*, representa a omissão dos passos 3 e 4 daquele ciclo, que passam agora a ser realizados em simultâneo com a conceção do *dashboard* analítico.

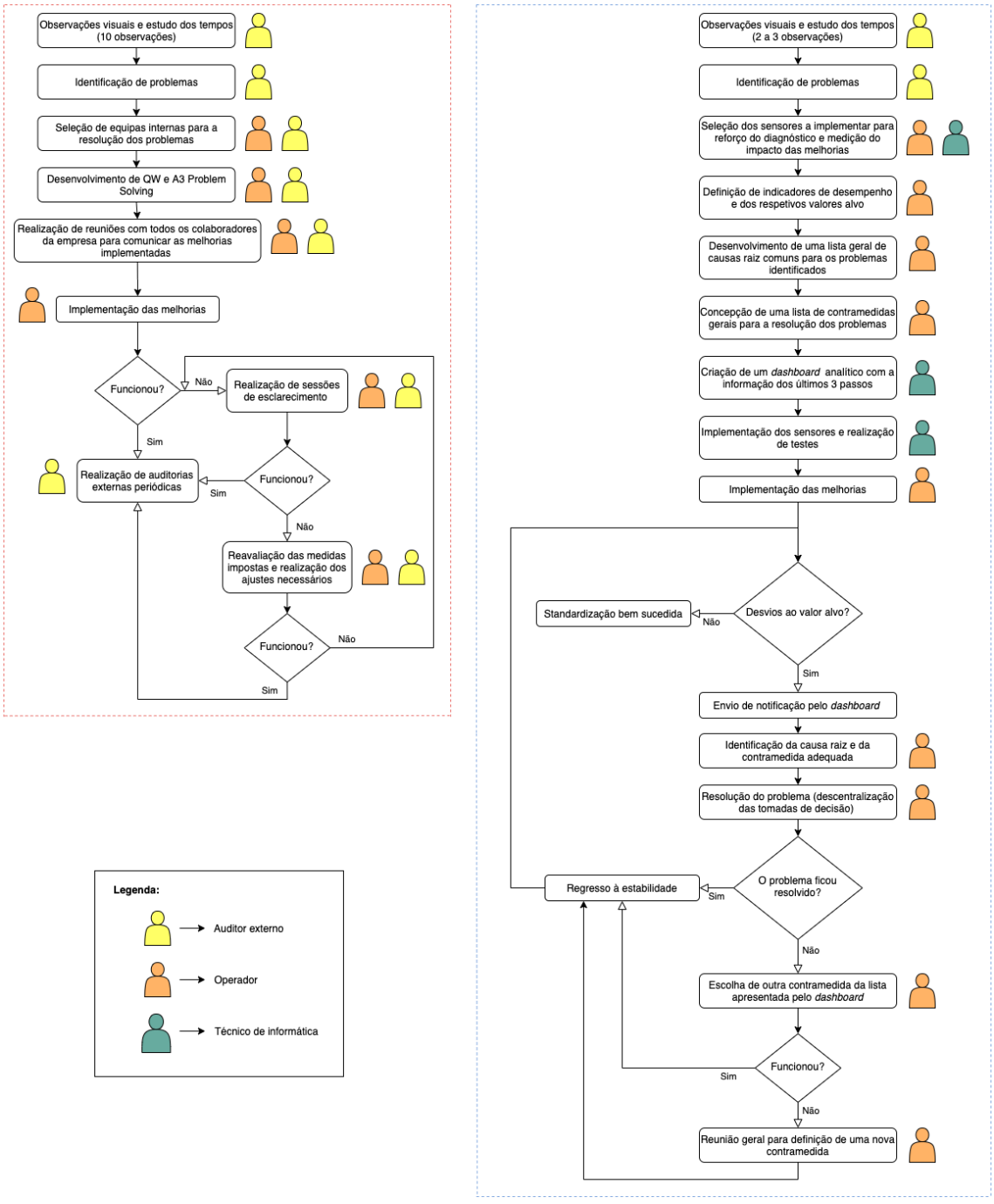


Figura 50 - Metodologia utilizada: caso real (rosa) e caso proposto (azul)

A *Figura 50* representa o fluxograma dos dois possíveis cenários, desde as observações visuais até às melhorias estarem totalmente implementadas e standardizadas com sucesso. Rodeado pelo tracejado a rosa, encontra-se a lógica seguida para a realização do caso de estudo. A azul está representado o cenário de acordo com a metodologia proposta nas *Figura 48* e *Figura 49*. O intuito desta comparação prende-se em destacar, de uma forma visual e rápida, as duas lógicas de abordagem e os diferentes intervenientes. O início é semelhante nas duas abordagens, consiste em começar por observar o decorrer do processo e identificar os seus problemas. Nas fases seguintes, existem notórias distinções.

Na abordagem tradicional utilizada para resolver o presente caso de estudo (a rosa), depois da fase inicial descrita é necessário selecionar equipas, desenvolver planos de resolução com base em ferramentas Lean, e realizar reuniões com todos os colaboradores da empresa para comunicar as melhorias que irão ser implementadas. Neste estudo, após as reuniões referidas, foram implementadas as melhorias. Quando ocorreram desvios significativos aos valores alvo, isto é, falhas na standardização, foi necessário realizar diversas sessões de esclarecimento, com o auxílio de especialistas externos. Posteriormente, foi necessário avaliar a eficácia dessas sessões e realizar eventuais correções para garantir a estabilidade. Segundo esta lógica é, ainda, necessário realizar auditorias externas periódicas por especialistas contratados, com os respetivos custos associados.

A presente dissertação pretende contribuir com um cenário alternativo, circundado a azul no fluxograma da *Figura 50*. Sugere, então uma metodologia diferente para reforçar o diagnóstico e para garantir a estabilidade na standardização das melhorias, com base na lógica apresentada nas *Figura 48* e *Figura 49*, mas exemplificada para o caso de estudo realizado.

A metodologia proposta nesta dissertação (a azul) apresenta como fase seguinte a seleção dos sensores necessários, com o auxílio de um técnico de informática, para reforçar e validar o diagnóstico obtido com as observações ao processo. Depois, é importante definir indicadores de desempenho e respetivos valores alvo, para os resultados que serão medidos pelos sensores. Os operadores devem, também, e em conjunto, construir uma lista geral de causas raiz e de contramedidas para os problemas encontrados. De seguida, devem requisitar a um técnico de informática, a conceção de um *dashboard* analítico que contenha todas estas informações. O técnico deve proceder à instalação dos sensores e à realização dos respetivos testes, garantindo a interligação necessária entre o *dashboard* e os sensores desenvolvidos. Só depois desta sequência de operações é que são implementadas as melhorias, contrariamente ao que acontece com o caso real circundado a rosa. Caso ocorram desvios aos valores alvo pré-estabelecidos, o *dashboard* notifica prontamente o operador, que agirá de imediato no sentido de identificar a causa raiz e a contramedida adequada.

Assim, esta metodologia permite uma notória descentralização de decisões, ao passar a responsabilidade da resolução de eventuais desvios, da gestão de topo diretamente para o operador, aumentando a sua motivação, dedicação e entrega aos processos futuros. Paralelamente, assegura a monitorização da standardização das melhorias implementadas, de uma forma automática e contínua, contribuindo para o aumento da autonomia da empresa, evitando a realização de auditorias externas esporádicas e os custos que estas acarretam.

7. Conclusões

Esta dissertação de mestrado tem como principal objetivo demonstrar, através da aplicação de uma metodologia proposta, a importância da evolução que é necessária fazer a nível tecnológico nas empresas. A dissertação atua ao nível do diagnóstico de problemas e no auxílio na standardização de melhorias, garantindo a competitividade e preparação para eventuais mudanças ao nível empresarial. A tese pretende demonstrar que esta adaptação a uma nova realidade pode ser feita de uma forma simples e relativamente rápida, com um investimento associado tolerável por empresas com um baixo nível de maturidade em I4.0.

A dissertação iniciou-se com a realização de um diagnóstico numa empresa dedicada à produção de biofármacos, onde foi selecionada uma sala e um fluxo de produção para efetuar o seu diagnóstico e, posteriormente, identificar os seus problemas, as causas raiz e as respetivas soluções. A sala escolhida, denominada na presente dissertação por sala Y, dedica-se à montagem e embalamento de peças. Assim, o processo engloba todas as fases presentes na preparação/produção de uma peça, desde a seleção dos seus componentes, ao seu embalamento para ser entregue em armazém. Por se tratar de um tipo de indústria que prima por uma higienização e desinfeção rigorosas e constantes, para além da produção também se analisou o processo de limpeza da sala.

Através de observações e cronometragens feitas ao processo, foi possível identificar os principais problemas. Para a sua resolução recorreu-se a duas ferramentas Lean tradicionais destinadas à resolução de problemas: *Quick-Win* e A3 *Problem Solving*. Os problemas identificados foram categorizados num dos dois tipos de ferramentas referidos. Posteriormente, selecionaram-se equipas responsáveis pela elaboração de contramedidas e pela sua implementação, com o auxílio de especialistas externos. Esta primeira fase, desde o início do diagnóstico ao início da implementação das contramedidas resultantes da aplicação das ferramentas de resolução de problemas, durou cerca de 2 meses e envolveu um esforço significativo. Levantou-se, por isso, a questão se seria possível fazer o diagnóstico de uma forma automática e, consecutivamente, mais robusta, algo já recorrente em empresas com algum nível de automação industrial, contrariamente ao que acontece na empresa em estudo, onde há uma elevada incidência de trabalho manual, sem recolha automática de dados, e onde o receio por investimentos significativos é uma realidade.

As esperas a que a peça está sujeita durante o processo, as inúmeras entradas e saídas da sala, a elevada incidência e tempo despendido em registos manuais, e a incerteza dos operadores de limpeza quanto ao número de equipamentos existentes no interior da sala, revelaram-se os problemas mais recorrentes e significativos aquando da realização de um processo. Na segunda parte desta dissertação, foram construídas duas maquetes representativas da sala em estudo e de o interior de uma gaveta, bem como um conjunto de exemplos de sensorização aplicados aos problemas mencionados, à luz dos *design principles* da I4.0, de rápida conceção, com um baixo nível de complexidade e de custo, e que, caso estivessem devidamente instalados aquando do diagnóstico realizado com base nas observações e estudo dos tempos, permitiriam validá-lo e aumentar a sua

robustez. Os sensores foram posteriormente instalados nas maquetes desenvolvidas com o intuito de ilustrarem o seu propósito.

Numa abordagem tradicional, posteriormente à implementação das melhorias, seguir-se-ia a fase de standardização de procedimentos para garantir a mudança de hábitos e a aplicação consistente dos procedimentos. Para verificar e sustentar este processo de standardização, recorre-se frequentemente a auditorias internas e/ou externas que avaliam o impacto destas melhorias, verificam a standardização das contramedidas implementadas e auxiliam na resolução de eventuais problemas. Ora, dada a facilidade na implementação destes sensores, e desde que sejam definidos *a priori* indicadores de desempenho adequados ao processo e respetivos valores alvo, considerou-se a hipótese de realizar estas auditorias de uma forma automática e contínua, com o recurso à digitalização através de *dashboards* de apoio, adaptados consoante a situação em análise, e ajustáveis de empresa para empresa.

Assim, desenvolveu-se um *dashboard* destinado a uma interpretação mais analítica, permitindo o acesso em tempo real aos dados referentes à produção, e uma tomada de decisão imediata por parte do operador no caso de eventuais desvios na implementação das soluções. As ações corretivas tomadas garantem o retorno à estabilidade da standardização dos procedimentos, e evitam retrocessos à situação pré-diagnóstico, com consequências drásticas para a eficiência do processo. Assim, o operador consegue, de forma autónoma, consciente e imediata, escolher a solução adequada, com base em ferramentas Lean, tradicionais ou apoiadas pela digitalização, contribuindo desta forma para a evolução do Lean para o Lean 4.0.

No caso de estudo descrito nesta dissertação, as melhorias implementadas desencadearam, por vezes, alguma resistência à mudança, esquecimento, ou dificuldade no seu cumprimento por parte dos colaboradores. Perante esta dificuldade, surgiu a necessidade de desenvolver uma metodologia que permitisse apoiar a empresa no controlo autónomo e automático das melhorias implementadas com vista à estabilidade da standardização. A metodologia de consolidação descreve todos os passos necessários desde as observações visuais até às melhorias standardizadas, incluindo a parte dedicada à seleção e instalação dos sensores e a criação do *dashboard* para monitorizar as contramedidas implementadas. Para a sua formulação recorreu-se à aplicação de um ciclo PDCA e de um SDCA, visíveis nas *Figura 48* e *Figura 49*, adaptados por uma inserção de tecnologias características da I4.0.

Apesar desta metodologia ter sido somente exemplificada diretamente para o caso de estudo da presente dissertação, trata-se de um instrumento de apoio à fase de standardização de qualquer procedimento. É, por isso, aplicável a todo o setor industrial, e permite o envolvimento e o contributo de todos os níveis da organização para que, em conjunto, consigam concretizar o mesmo objetivo: atenuar os eventuais desvios e consolidar a standardização das melhorias implementadas.

8. Trabalho Futuro

Futuramente, sugere-se que a implementação destes sensores seja concretizada na prática e devidamente testada num fluxo de produção. A instalação deve ser feita logo após algumas observações ao processo, de modo a permitir validar e aumentar a robustez do diagnóstico, ou seja, seguindo criteriosamente a ordem proposta para a realização dos vários passos da metodologia apresentada no subcapítulo 6.4. Ainda no âmbito da sensorização, e visto que a dificuldade no preenchimento de etiquetas brancas de operação se revelou um dos problemas mais críticos, sugere-se a digitalização destas etiquetas, por forma a eliminar totalmente os erros e as dúvidas nos respetivos registos, bem como as reuniões semanais com especialistas externos.

A aplicação desta metodologia vai ao encontro do Modelo 5C respeitante à arquitetura de componentes característicos da I4.0, referido na secção *Revisão Bibliográfica*. De facto, esta metodologia considera a aquisição em tempo real de dados fidedignos diretamente das várias operações existentes nas estações de trabalho (primeira camada do modelo). Igualmente, é realizada a conversão dos dados obtidos em informação útil para análise, através de esquemas visuais, facilmente acessíveis por toda a organização, seja *in loco* ou remotamente, facilitando as tomadas de decisão em caso de desvios aos valores alvo ou reforçando a realização de diagnósticos através de ferramentas apropriadas para o efeito, neste caso, o *dashboard* analítico desenvolvido (segunda e quarta camada). Propõem-se, também para trabalho futuro, que se arranje uma solução para que as estações de trabalho consigam estabelecer comparação entre o estado atual das máquinas e o seu histórico de informação (terceira camada), e que se torne possível providenciar feedback às próprias máquinas, com vista ao seu auto-ajuste (quinta camada).

Outro trabalho futuro reside no estudo aprofundado do Modelo 8C, também referido na secção *Revisão Bibliográfica*, como forma de extrapolar a lógica desenvolvida nesta dissertação para toda a rede, incluindo os fornecedores e os clientes.

9. Referências

[1] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Roos, “The machine that changed the world,” *Bus. Horiz.*, 1992, doi: 10.1016/0007-6813(92)90074-J.

[2] T. Melton, “The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries,” *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 83, no. 6 A, pp. 662–673, 2005, doi: 10.1205/cherd.04351.

[3] “Taiichi Ohno - Wikipedia.” .

[4] J. F. Krafcik, “Triumph of the lean production system,” *Sloan Manage. Rev.*, 1988.

[5] S. C. Smith, “Lean thinking,” *Insight - Journal of the American Society of Ophthalmic Registered Nurses*, 2009.

[6] E. Henriques and P. Peças, “Sebenta de Gestão da Produção,” in *AEIST*, .

[7] G. Rand, J. Womack, and D. T. Jones, “Lean Thinking-Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation.,” *J. Oper. Res. Soc.*, 2006, doi: 10.2307/3010314.

[8] G. Hoellthaler, S. Braunreuther, and G. Reinhart, “Digital lean production – An approach to identify potentials for the migration to a digitalized production system in SMEs from a lean perspective,” *Procedia CIRP*, vol. 67, pp. 522–527, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2017.12.255.

[9] “Gestão da Qualidade, o segredo para a melhoria contínua.” .

[10] J. K. Liker and J. M. Morgan, “The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development,” *Acad. Manag. Perspect.*, vol. 20, no. 2, pp. 5–20, 2006, doi: 10.5465/amp.2006.20591002.

[11] Kanbanize, “O que é o Ciclo Plan-Do-Check-Act?” https://kanbanize.com/pt/gestao-lean/melhoria/o-que-e-o-ciclo-pdca.

[12] M. R. Hamel, “Kaizen event fieldbook foundation, framework, and standard work for effective events,” *Society of Manufacturing Engineers*, 2010.

[13] M. Justa, “PDCA e SDCA.” http://marcelojusta.blogspot.com/2010/09/29-pdca-e-sdca.html.

[14] P. Arunagiri and A. Gnanavelbabu, “Identification of major lean production waste in automobile industries using weighted average method,” 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.460.

[15] C. Marchwinski and J. Shook, *Lean Lexicon: A Graphical Glossary for Lean Thinkers*, 5th Editio. Lean Enterprise Institute, Inc., 2003.

[16] C. R. P, “Application of Lean Manufacturing in the maintenance of propellers at OGMA company,” no. September, 2018.

[17] “The Seven Wastes | 7 Mudas.” http://leanmanufacturingtools.org/77/the-seven-wastes-7-mudas/.

[18] B. Ricardo and M. Rocha, “Desenvolvimento de sistema de gestão visual para o apoio ao planeamento e controlo de actividades de manutenção Engenharia Mecânica,” 2018.

[19] M. Barros, “Avaliação do desempenho Lean : Modelos e aplicação Engenharia Mecânica,” 2018.

[20] M. Eaton, *The lean practitioner’s handbook*, 1st ed. 2013.

[21] S. Gupta and S. Jain, “An application of 5S concept to organize the workplace at a scientific instruments manufacturing company,” *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 6, no. 1, pp. 73–88, 2015.

[22] “How to use shadow boards for 5S.” .

[23] J. W. M. Ron Bialek, Grace L. Duffy, “Spaghetti Diagram,” *ASQ*, 2017. .

[24] “Yamazumi Chart.” https://leanmanufacturingpdf.com/yamazumi-chart/.

[25] “Descobre ideias sobre Poka Yoke,” *Pinterest*. .

[26] M. Hermann, T. Pentek, and B. Otto, “Design principles for industrie 4.0 scenarios,” *Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, vol. 2016-March, pp. 3928–3937, 2016, doi: 10.1109/HICSS.2016.488.

[27] R. Drath, A. Horch, and A. B. B. Ag, “Industrie 4 . 0 – Hit or Hype ?,” vol. 8, no. 2, pp. 56–58, 2014.

[28] S. V. Buer, J. O. Strandhagen, and F. T. S. Chan, “The link between industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 56, no. 8, pp. 2924–2940, 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1442945.

[29] T. Westermann and R. Dumitrescu, “Maturity model-based planning of cyber-physical systems in the machinery and plant engineering industry,” *Proc. Int. Des. Conf. Des.*, vol. 6, pp. 3041–3052, 2018, doi: 10.21278/idc.2018.0260.

[30] T. Meudt, J. Metternich, and E. Abele, “Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 66, no. 1, pp. 413–416, 2017, doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.005.

[31] L. Monostori *et al.*, “Cyber-physical systems in manufacturing,” *CIRP Ann.*, vol. 65, no. 2, pp. 621–641, 2016, doi: 10.1016/j.cirp.2016.06.005.

[32] M. Hermann, B. Otto, and T. Pentek, “Design Principles for Industrie 4 . 0 Scenarios : A Literature Review Working Paper A Literature Review,” no. January, 2015, doi: 10.13140/RG.2.2.29269.22248.

[33] S. Gregor, “Building theory in the sciences of the artificial,” p. 1, 2009, doi: 10.1145/1555619.1555625.

[34] G. Schuh, T. Potente, C. Wesch-Potente, and A. Hauptvogel, “Sustainable increase of overhead productivity due to cyber-physical-systems,” *11th Glob. Conf. Sustain. Manuf.*, pp. 332–335, 2013.

[35] A. Amaral, “A Framework for assessing manufacturing SMEs Industry 4 . 0 maturity,” no. May, 2019.

[36] P. Michael and F. Institut, “Technik für die wandlungsfähige Logistik – Industrie 4 . 0 Transformation zur Logistik der Zukunft Prof . Dr . Boris Otto , Stiftungsprofessur für » Supply Net Order Management « am LogistikCampus der TU Dortmund ;,” no. December, 2014.

[37] J. Lee, B. Bagheri, and H. A. Kao, “A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems,” *Manuf. Lett.*, vol. 3, pp. 18–23, 2015, doi: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.

[38] P. Peças, D. Jorge, and M. Barros, “Design of Cyber-Physical Systems,” no. Dm, 2016.

[39] J. Jiang, “An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4 . 0 smart factories,” vol. 10, no. 300, pp. 1–15, 2018, doi: 10.1177/1687814018784192.

[40] C. Von Industrie, P. H. Kagermann, and D. A. Der Technik-, “Einführung Die vierte industrielle Revolution,” 2014, doi: 10.1007/978-3-658-04682-8.

[41] D. Kolberg, J. Knobloch, and D. Zühlke, “Towards a lean automation interface for workstations,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 55, no. 10, pp. 2845–2856, 2017, doi: 10.1080/00207543.2016.1223384.

[42] D. Kolberg, J. Knobloch, and D. Zühlke, “Towards a lean automation interface for workstations,” vol. 7543, no. September, 2016, doi: 10.1080/00207543.2016.1223384.

[43] T. Authors, “Industry 4.0,” 2020, doi: 10.1007/s12599-014-0334-4.

[44] J. Wan, “Industrie 4 . 0 : Enabling Technologies,” pp. 135–140, 2015.

[45] A. Mayr *et al.*, “Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0,” *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 622–628, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.03.292.

[46] J. P. Womack, “The Psychology of Lean Production,” vol. 45, no. 2, pp. 119–122, 1996.

[47] A. Sanders, C. Elangeswaran, and J. Wulfsberg, “Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing,” *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 9, no. 3, p. 811, 2016, doi: 10.3926/jiem.1940.

[48] T. Wagner, C. Herrmann, and S. Thiede, “Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems,” *Procedia CIRP*, vol. 63, pp. 125–131, 2017, doi: 10.1016/j.procir.2017.02.041.

[49] B. Mrugalska and M. K. Wyrwicka, “Towards Lean Production in Industry 4.0,” *Procedia Eng.*, vol. 182, pp. 466–473, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.135.

[50] Å. Fast-berglund, U. Harlin, and M. Åkerman, “Digitalisation of meetings – from white-boards to

smart-boards," *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 1125–1130, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2015.12.120.

[51] E. Hollnagelt and D. D. Woods, "Cognitive Systems Engineering : New wine in new bottles," pp. 583–600, 1983.

[52] R. Anderl, "Industrie 4.0 Maturity Index."

[53] R. Wernke and A. Hermann, "Digitalization as a catalyst for lean production : A learning factory Digitalization as a catalyst for lean Conference production : learning factory Manufacturing approach for digital shop floor management," *Procedia Manuf.*, vol. 23, no. 2017, pp. 81–86, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.165.

[54] S. Buer, G. I. Fragapane, J. O. Strandhagen, J. Ola, and J. Ola, "ScienceDirect Process Improvement Cycle : The Process Improvement Cycle : The Process Improvement Cycle : The Process Improvement Cycle : Using Digitalization for Continuous Improvement The Process Improvement Cycle : Using Digitalization for Continuous I," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 1035–1040, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.471.

[55] C. Prinz, N. Kreggenfeld, and B. Kuhlenkötter, "Lean meets Industrie 4 . 0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world," *Procedia Manuf.*, vol. 23, no. 2017, pp. 21–26, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.155.

[56] M. Digital, "Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector," 2015.

[57] P. Tarvin, *Leadership & Management of Machining: How to integrate technology, robust processes, and people to win!* Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2016.

[58] T. Bortolotti *et al.*, "Lean First , Then Automate : An Integrated Model for Process Improvement in Pure Service-Providing Companies To cite this version : HAL Id : hal-01060463," 2014.

[59] J. Metternich, T. Meudt, and S. Adolph, "Industrie 4.0: Chancen für den Mittelstand nutzen," *MM MaschinenMarkt*, 2016.

[60] Q. Hu, R. Mason, S. Williams, and P. Found, "Lean implementation within SMEs: a literature review," *J. Manuf. Technol. Manag.*, 2015.

[61] J. Jäger, O. Schöllhammer, M. Lickefett, and T. Bauernhansl, "Advanced complexity management strategic recommendations of handling," *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 116–121, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.11.021.

[62] R. R. De Matos, "Reuniões Diárias 4 . 0 – Um caso de estudo que visa contribuir para a digitalização no contexto da indústria do papel Engenharia Mecânica Júri," 2019.

[63] "How to View Digitalization as an Opportunity, Not as a Threat," *Bossard*, 2018. .

[64] H. Tokola, C. Gröger, E. Järvenpää, and E. Niemi, "Designing manufacturing dashboards on the basis of a Key Performance Indicator survey," *Procedia CIRP*, vol. 57, pp. 619–624, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.11.107.

[65] J. Qin, Y. Liu, and R. Grosvenor, “A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond,” *Procedia CIRP*, vol. 52, pp. 173–178, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.08.005.

[66] D. Kolberg and D. Zühlke, “Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 1870–1875, 2015, doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.359.

[67] Infraspeak, “O que é a Manutenção Preventiva?” .

10. Anexos

Anexo A – Categorização das tarefas que compõem o processo de montagem e de limpeza

Tabela 5 - Classificação das tarefas realizadas durante o processo de montagem de uma peça na sala Y

TAREFA	CLASSIFICAÇÃO
Olhar para o trabalho futuro no PG	Valor não acrescentado
Procurar informação no PG	
Procurar saco de componentes em falta	
Conversa com conteúdo científico	
Conversa sem conteúdo científico	
Espera devido à ocupação do trabalhador (ajudar outro operador, chamadas telefónicas, saídas da sala, embalamento de outras peças)	
Procurar registo de contas na bancada de trabalho	
Interpretar montagem no PG	Melhorável
Abrir o PG no local indicado	
Preencher *logbook* da autoclave	
Cortar tubo	
Arrumar embalagem de componentes no carrinho de arrumação	
Ligar equipamento de embalamento	
Preencher etiqueta de operação	
Buscar saco de componentes	
Organizar componentes na bancada de trabalho	
Colar etiquetas	
Fazer contas da restante quantidade de tubo	
Cortar saco dos componentes	
Verificar PG anteriores	
Assinar saco grande com caneta de acetato	
Ir ao lixo	
Montar	Valor acrescentado
Levar peça para a zona de embalamento	
Embalar	
Levar peças para o carrinho da autoclave	
Assinar PG	
Abrir saco de componentes	
Verificar embalamento	
Arrumar bancada de trabalho	
Limpar bancada de trabalho	

Registar a quantidade restante na embalagem	
Colar etiqueta branca do embalamento no PG	

Tabela 6 - Classificação das tarefas realizadas durante a limpeza da sala Y

TAREFA	CLASSIFICAÇÃO
Procurar sacos	Valor não acrescentado
Procurar *logbook* e etiquetas	
Contar equipamentos existentes no interior da sala	
Procurar rolo de papel	
Limpar repetidamente a mesma superfície	
Limpar o mesmo *airlock* pela segunda vez	
Buscar produto de limpeza	
Trocar mopa desnecessariamente	
Limpar vidros do *airlock* pela segunda vez	
Procurar *logbook* correto	
Arrumar etiquetas	
Verificar se há equipamentos por limpar	
Interpretar folha de registo e verificar a hora	
Procurar folha de registo de limpeza	
Telefonar para o exterior	
Organizar etiquetas e *logbook*	
Procurar folha de *changeover*	
Procurar última entrada preenchida no *logbook*	
Buscar panos de limpeza	
Buscar saco do lixo	
Buscar desinfetante	
Movimentos sem sentido	
Preenchimento incorreto da folha de registo	
Limpar *airlock* sem respeitar o fluxo correto	Melhorável
Preencher etiquetas de limpeza	
Limpar diferentes superfícies simultaneamente	
Preencher folha de *changeover*	
Preencher *logbook*	
Colar etiquetas nos diversos equipamentos	
Limpar equipamento específico	

Limpar módulos de gavetas (somente a superfície)	
Recolher lixo	
Preencher folha de registo de limpeza	
Ir ao lixo	
Apanhar sujidade do chão	
Arrumar material de limpeza	
Trocar mopa	Valor acrescentado
Limpar superfícies pela ordem correta	
Arranjar/preparar panos de limpeza	
Preencher folha de *changeover*	
Organizar equipamentos	
Limpar módulos de gavetas	
Varrer chão	
Lavar chão	
Colocar material no *airlock* de saída de materiais	

Anexo B – Método de abordagem dos QW e A3 – Lógica PDCA

Neste encontra-se detalhado o modo de preenchimento dos ***Quick-Wins*** e dos **A3 *Problem Solving*** realizados, respeitantes a cada um dos desafios encontrados.

A abordagem dos *Quick-Wins* consiste no preenchimento sequencial dos vários campos presentes na *Figura 51*. Para tal, é importante compreender o significado de cada um:

Estado atual: pretende descrever o que é que o problema está a gerar de valor não acrescentado para o processo. A título de exemplo, eventuais erros de montagem ou possíveis atrasos.

Problema: o que é que faz com que surja a necessidade deste QW, quais os principais níveis de causa. No fundo, representa a origem da questão.

Objetivo: o que é que se pretende atingir com a eliminação deste problema.

Proposta: ideias para solucionar o desafio.

Ganho: este campo só se preenche depois de as propostas terem sido postas em prática. O propósito é avaliar se os resultados da implementação da melhoria corresponderam, ou não, às expectativas iniciais e analisar as respetivas razões.

Figura 51 - Template ilustrativo de um Quick-Win

A lógica de abordagem de um *A3 Problem Solving* é semelhante à de um QW, embora com algumas diferenças aquando do seu preenchimento (*Figura 52*). Começa-se por definir o *background* do problema, o seu estado atual e realiza-se uma análise das causas raiz para os diversos problemas encontrados. Esta primeira fase está intimamente relacionada com a parte do planeamento (*Plan*) do ciclo de *Deming*, respeitante à análise e mapeamento do estado atual. De seguida, definem-se as condições alvo a atingir com a resolução do desafio e propõem-se contramedidas para os resolver. Esta segunda parte da análise representa a ação da lógica PDCA (*Do*) onde se coloca em prática aquilo que ficou definido no estágio anterior. A terceira fase da aplicação desta ferramenta consiste em traçar um plano de ação, no qual se listam todas as contramedidas, os responsáveis por resolvê-las, e os respetivos prazos de resolução (*Check*). Por último, faz-se um seguimento do resultado da implementação das melhorias (*Act*), standardizando e estabilizando as soluções e, se possível, replicando para outras áreas de análise na empresa.

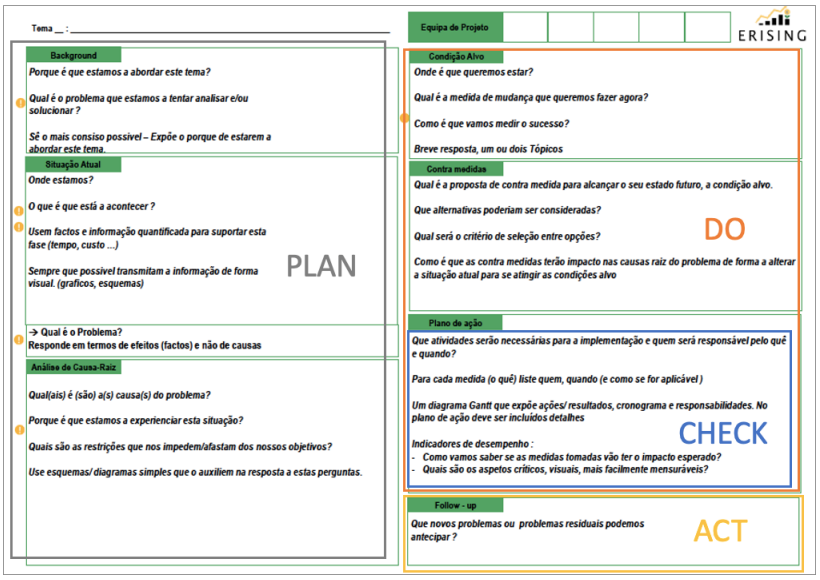


Figura 52 - Template ilustrativo de um A3 Problem Solving e Lógica PDCA

A aplicação destas duas ferramentas de identificação e resolução de problemas está, então, intimamente relacionada com a utilização sistemática da lógica do ciclo de *Deming* por parte das

empresas, permitindo uma melhoria gradual de qualquer processo de produção. De facto, uma abordagem do tipo PDCA visa acompanhar e auxiliar a melhoria contínua dos processos de produção. Primeiramente, planeia-se o modo de colmatar os problemas identificados, definem-se estratégias de resolução e objetivos a cumprir. Posteriormente, aplicam-se as soluções, verificam-se os resultados e, por fim, corrige-se o que não estiver conforme previsto, ou melhora-se, continuamente, os ganhos obtidos com a aplicação destas estratégias.

Anexo C – QW e A3 desenvolvidos para o presente caso de estudo

No presente anexo encontram-se os planos de ação respeitantes a cada QW e A3 abordados.

QW – Incoerência na nomenclatura utilizada nas etiquetas

Tabela 7 - Plano de ação respeitante ao QW da incoerência nas nomenclaturas

			Maio			Junho				Julho					
Tema	Atividade	Responsável	13/mai	20/mai	27/mai	3/jun	10/jun	17/jun	24/jun	1/jul	8/jul	15/jul	22/jul	29/jul	Seguimento
K	Actualizar os nomes do *software* com os nomes do *laborders* em papel	AF													OK
K	Actualização dos nomes dos componentes no *software* e no *laborders*	SO													Atraso de uma semana na conclusão da tarefa; Adiamento da tarefa por questões logísticas
K	Transmissão no TOP20 a nomenclatura a utilizar (que é a que está no *laborders*)	RF													OK
K	Revisão das instruções em papel	TC													OK
K	Introdução das actualizações no sistema	TC													OK
K	Colocação no Achiever por parte da CRA da informação que tem de ser introduzida na revisão do procedimento	TC													OK
K	Verificação dos nomes que constam no *laborders* com a Produção	SO; TC; FP													OK
K	Validação dos nomes sugeridos pela Produção	SO; ARM													OK

A cor azul escura utilizada na tabela indica a(s) semana(s) dedicada(s) à realização da atividade em causa. A presença da cor vermelha na segunda tarefa presente no plano de ação representa atrasos na sua realização face ao planeado. Na mesma tarefa, a cor laranja representa o adiamento na conclusão da tarefa, por questões inerentes à logística da empresa. A ausência da cor vermelha nas restantes tarefas do plano de ação permite concluir que estas foram realizadas atempadamente e que o QW se encontra concluído, na sua fase de standardização. Importa salientar que a ordem pela qual as tarefas são apresentadas no plano de ação, não é necessariamente cronológica, representa, sim, a ordem pela qual estas foram idealizadas.

QW – Dificuldade no preenchimento e realização do *changeover*

Tabela 8 - Plano de ação respeitante ao QW da realização do changeover

			Abril	Maio				Junho				Julho					
Tema	Atividade	Responsável	30/abr	06/mai	13/mai	20/mai	27/mai	03/jun	10/jun	17/jun	24/jun	01/jul	08/jul	15/jul	22/jul	29/jul	Seguimento
J	Ter uma folha de changeover diferente para cada tipo de sala (uma destinada para pesagens, outra de preparação de materiais/soluções e outra de produção propriamente dita)	HC															OK
J	Dividir a folha de registo em duas secções distintas: produção e limpeza. Todos os campos da secção de limpeza devem estar em português e em inglês	HC															OK
J	Retirar definitivamente o campo de "No" e substituí-lo por "NA" (*Not Applicable*)	HC															OK
J	Substituir as assinaturas atuais por uma única assinatura por secção	HC															OK
J	Rever o SOP para incluir de forma clara as instruções relativas ao preenchimento correto da folha de changeover	TF															OK
J	Admitir períodos fixos para a verificação da limpeza e fecho do changeover	AA															OK

A3 – Desperdício associado ao procedimento da Produção

Para o A3 em causa foram definidas as seguintes condições alvo: atingir **10%** de tempo despendido na compreensão do procedimento, face ao tempo total do processo, e encontrar de imediato tanto as folhas de registo, como os componentes necessários às várias montagens que compõem o PG. Na *Figura 53* apresenta-se o resultado final da análise de causas raiz realizada pela equipa interna responsável, em conjunto com os consultores externos à empresa.

Figura 53 - Análise de causas raiz relativas à dificuldade no procedimento da produção

Tabela 9 - Plano de ação respeitante ao A3 – Desperdício associado ao procedimento da produção

			Maio			Junho				Julho					
Tema	Atividade	Responsável	13/mai	20/mai	27/mai	03/jun	10/jun	17/jun	24/jun	01/jul	08/jul	15/jul	22/jul	29/jul	Seguimento
B	Reunir com PMs e Diretor de Produção para avaliar a possibilidade de implementar a primeira contramedida	LS													OK
B	Expôr a segunda contramedida ao Diretor de Produção	FD													Já foi algo considerado, mas concluiu-se que é complicado dado o número reduzido de operadores
B	Desenvolver uma proposta para uma nova organização no interior da sala e apresentá-la na reunião de Produção	JT; FP; FD													OK
B	Questionar o Diretor de Produção sobre o modo como é feita a revisão do PG	LS													Atraso na realização da tarefa devido à indisponibilidade do responsável
B	Criar o documento de registo de erros e melhorias e propô-lo ao departamento QA	FP													OK
B	Definir e identificar os locais dos consumíveis	FP													OK
B	Criar agenda de passagem de trabalho	LS; FD													OK
B	Apresentar na reunião de Produção os novos locais definidos para os consumíveis	FP; CFA													OK

A3 – Dificuldades no preenchimento de *logbooks* e etiquetas

Tabela 10 - Plano de ação respeitante ao A3 – Dificuldades no preenchimento de logbooks e etiquetas

			Maio			Junho				Julho					
Tema	Atividade	Responsável	13/mai	20/mai	27/mai	03/jun	10/jun	17/jun	24/jun	01/jul	08/jul	15/jul	22/jul	29/jul	Seguimento
H+F'	Criar um procedimento de transferência de equipamentos	MF													Adiado até ao dia 5 de agosto por constrangimentos no horário do responsável
H+F'	Rever o procedimento do modo de preenchimento das etiquetas com o Diretor de Produção	MF													
H+F'	Realizar uma ação de formação com todos os departamentos para decidirem a forma de preenchimento dos campos de limpeza	CA; RF													A marcar logo após a realização da tarefa anterior
H+F'	Definir quais é que são os equipamentos que devem ter *logbook* e averiguar a pertinência de todos os campos atuais	CA; FS													
H+F'	Pensar e definir um sistema de distinção e reconhecimento dos logbooks de limpeza (cores, imagens)	CA													
H+F'	Definir quais os campos do *logbook* que devem estar tanto em português como em inglês	MF													
H+F'	Averiguar a possibilidade de retirar certos campos dos *logbooks*	RF													
H+F'	Desenhar e colocar marcadores nas últimas páginas preenchidas de cada *logbook*	JV													

A3 – Inúmeras entradas e saídas das salas devido à falta de material

Tabela 11 - Plano de ação referente ao A3 das inúmeras entradas e saídas da sala X

			Maio			Junho				Julho					
Tema	Atividade	Responsável	13/mai	20/mai	27/mai	03/jun	10/jun	17/jun	24/jun	01/jul	08/jul	15/jul	22/jul	29/jul	Seguimento
E	Falar com a responsável pelo planeamento para transmitir aos PM e aos responsáveis pelos restantes departamentos, o problema em questão	AF													O departamento QA afirmou que não há qualquer problema, em termos de GMP, em ter o material permanentemente no interior da sala
E	Relembrar no TOP 20 a necessidade de retirar todo o material da sala no final do processo, até futura indicação	CP													Ficou decidido na reunião que todo o material deve ser retirado aquando do changeover, até futuras instruções
E	Analisar com o Diretor de Produção a viabilidade de manter o material necessário às pesagens no interior da sala, após o término do processo	CP													OK
E	Falar com a responsável do planeamento para que na reunião seguinte de produção seja transmitida a forma correta de aproveitar os 30 minutos de iniciação das LAF	MS													OK
E	Propor um aviso visual na sala que relembre a preparação e que deve ser comunicado na próxima reunião semanal de preparação	MS													A equipa confessou que não reage aos sinais visuais existentes atualmente
E	Reunir com os PM e propor que todo o material necessário à pesagem seja adicionado às listas de recolha	AF													Na reunião com os PM ficou decidido que o material não será inserido nos BPR
E	Apresentar na reunião de Produção a ideia de acrescentar na folha de changeover um campo destinado à verificação/recolha do material em falta	CP													Segundo a responsável pelo planeamento, esta hipótese aparenta ser a mais viável
E	Falar com a responsável pela verificação da limpeza sobre o estado da revisão da folha de changeover	CP													A folha de changeover ainda não foi revista
E	Falar com a responsável pelo planeamento sobre a possibilidade de existir um stock mínimo no interior da sala	TC													O QA não se opõe à existência de um stock mínimo. Tal informação terá de ser acrescentada na SOP.
E	Confirmar com a responsável pelo armazém como resolver o problema da *expiry date* das etiquetas de material	CP													OK
E	Definir stocks mínimos a incluir na sala e apresentá-los na reunião de Produção	MS; TC; CP													OK
E	Elaborar um texto acerca do inventário da B01 para ser incluído na SOP	CP													OK
E	Alterar na folha de changeover, com o auxílio da responsável pela verificação da limpeza	CP													OK
E	Reunião com responsável do QA para definir as alterações e validar o *Risk Assessment*	CP; TC; MS; AF													No dia 04/06 foram enviados todos os tópicos
E	Rever SOP consoante os tópicos definidos na reunião com o responsável do QA														No dia 04/06 foi enviada a última versão, já alterada, do changeover
E	Avaliar com o armazém o que foi utilizado durante um ano em termos de material na B01	CP													OK
E	Material de documentação: falar com o responsável do QA sobre a aplicação do método	CP; TC; MS; AF													OK

Anexo D – Análise das seis secções do *Dashboard* proposto

A secção do painel de bordo que se encontra no seu canto superior esquerdo, visualmente identificada como a primeira secção, diz respeito ao **estado de limpeza dos equipamentos** presentes no interior da sala – *Figura 54*.

EQUIPAMENTO	ESTADO	OBSERVAÇÕES
1	LIMPO	
2		O equipamento foi substituído por outro
3	LIMPO	
4	LIMPO	
5	LIMPO	
6		O equipamento foi retirado da sala no final do PG
7	LIMPO	
8	LIMPO	
9	POR LIMPAR	
10	POR LIMPAR	

Figura 54 - Primeira secção do dashboard - Estado de limpeza dos equipamentos

Através da aquisição de dados em tempo real obtidos pela utilização da quarta proposta mencionada na secção *Sensorização da sala Y – Propostas idealizadas*, os PMs podem, de imediato, agir em conformidade caso algum equipamento, por lapso, tenha permanecido sujo depois da limpeza, ou, caso não haja nenhuma informação relativamente ao seu estado de limpeza (surgem no painel observações automáticas, reportadas pelos operadores, das suas causas). Este alerta visual permite evitar que equipamentos fiquem por limpar – trata-se de um problema frequentemente detetado aquando do diagnóstico, que causava atrasos na produção seguinte e que, consequentemente, aumentava o tempo despendido no processo.

A segunda secção presente neste *dashboard* (*Figura 55)* surge inerentemente devido à existência da primeira, com o intuito de registar o **histórico de limpeza dos equipamentos**, permitindo detetar quais os equipamentos cuja frequência de limpeza é menor, num total de 20 observações realizadas (importa salientar novamente que todos os valores quantitativos presentes neste painel são somente ilustrativos, não representando *ipsis verbis* a realidade atual). Após a clara identificação dos equipamentos críticos, sugere-se a reavaliação da sua localização no interior da sala, visto tratar-se do principal motivo para a ineficiência na frequência da sua limpeza. Na presente secção vem também indicado o valor alvo a atingir para o indicador-chave do processo em causa, neste caso, zero equipamentos sujos no interior da sala após a limpeza ter sido efetuada.

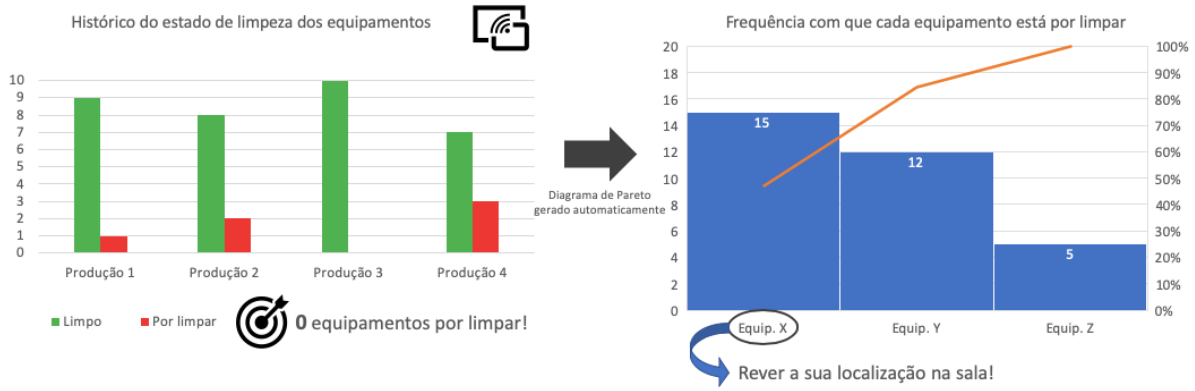


Figura 55 - Segunda secção do dashboard - Histórico de limpeza dos equipamentos e respetiva análise

A terceira secção, que já se encontra na parte respeitante à produção de peças e aspetos gerais descreve, de um modo tabular (*Tabela 12*), o **estado de produção das várias peças** que compõem cada ciclo de autoclave. Através da utilização da primeira proposta de sensorização desta dissertação de mestrado, é possível cronometrar em tempo real as esperas a que cada peça é sujeita durante a sua montagem, cujo tempo será automaticamente indicado nesta secção do painel de bordo e, consequentemente, a percentagem de valor não acrescentado destas esperas face à totalidade do tempo despendido no processo de montagem.

Tabela 12 - Terceira secção do dashboard - Influência das esperas nas montagens das peças que compõem os vários ciclos de autoclave

NR. DE OPERADORES	NR. DE CICLO	PEÇA	ESPERAS	ESTADO	%VNA/PEÇA	% CICLO COMPLETA	OBSERVAÇÕES
2	1	MT 1000	14min13s	COMPLETO	39,5%	100%	As esperas representam uma elevada percentagem de valor não acrescentado para o processo
		MT 1000	10min32s	COMPLETO	48%		
		MT 1690	7min7s	COMPLETO	20%		
		MT 1693	10min37s	COMPLETO	44%		
2	2	MT 1632	5min45s	COMPLETO	48%	75%	Ciclo que contém peças com elevada complexidade, feito somente com 2 operadores
		MT 1176	9min3s	COMPLETO	53%		
		MT 1681	4min6s	COMPLETO	21%		
		MT 1682		INCOMPLETO			
3	3	MT 1689		INCOMPLETO		0%	
		MT1591		INCOMPLETO			
		MT 1690		INCOMPLETO			
		MT 1632		INCOMPLETO			
		MT 1682		INCOMPLETO			
		MT 1591		INCOMPLETO			
		MT 1000		INCOMPLETO			

É, ainda, possível observar a percentagem de cada ciclo já completa e algumas observações feitas pelos operadores de produção, após serem selecionadas de uma lista de observações gerais muito comuns já previamente definida – *Figura 56*.

B14 – OBSERVAÇÕES GERAIS
A entrada na sala corresponde ao início do processo
A duração da atividade reflete o tempo de pausa para o almoço
Faltou um equipamento
Rasgou-se uma luva
Rasgou-se a máscara de proteção
Falta de stock de braçadeiras
Falta de stock de etiquetas
Falta de stock de consumíveis
A saída da sala corresponde à conclusão do processo
O operador foi necessário noutra unidade
O operador abandonou a sala porque tinha uma reunião
As esperas representam uma elevada percentagem de valor não acrescentado para o processo
Ciclo que contém peças com elevada complexidade, feito somente com 2 operadores
O equipamento foi substituído por outro
O equipamento foi retirado da sala no final do PG
...

Figura 56 - Lista das observações gerais de situações que ocorrem com frequência na sala Y

Se assim se justificar, durante a reunião de produção é aconselhado acrescentar-se observações adicionais a esta lista que, posteriormente, aparecerão automaticamente no painel de bordo.

De seguida, apresenta-se no *dashboard* uma secção respeitante ao **número de entradas e saídas da sala e respetivas durações** (*Tabela 13*). Esses valores são obtidos com a utilização da segunda proposta mencionada nesta dissertação, e permitem calcular a percentagem de valor não acrescentado que esta movimentação traz face à totalidade do processo. As observações gerais apresentadas na

tabela são escolhidas novamente pelo operador que se encontra a realizar o processo, através da sua seleção da lista de observações já mencionada.

Tabela 13 - Quarta secção do dashboard - Entradas e saídas da sala Y durante um processo

SAÍDAS DA SALA	ENTRADAS NA SALA	DURAÇÃO DA AVN	% AVN (em 4h40min de processo)	OBSERVAÇÕES
	10h			A entrada na sala corresponde ao início do processo
11h55min	13h15min			A duração da atividade reflete o tempo de pausa para o almoço
13h52min	14h08min	16min	5.7%	Faltou um equipamento
15h01min	15h07min	6min	2%	Rasgou-se uma luva
15h32min	15h40min	8min	2.9%	Falta de *stock* de braçadeiras
16h				A saída da sala corresponde à conclusão do processo

Tal como o que sucede para o caso do estado de limpeza dos equipamentos, também relativamente às **entradas e saídas da sala** é proposta uma análise ao seu **histórico** e às suas **causas** para o sucedido. O Diagrama de Pareto representado na *Figura 57* permite identificar a frequência de cada causa, num total de 20 processos, que leva o operador a ter que abandonar a sala durante um processo. Para o caso de estudo efetuado, a causa X poderá corresponder à falta de um equipamento necessário ao processo, visto ter sido a situação mais frequentemente observada, a causa Y poderá estar associada à falta de *stock* de consumíveis no interior da sala, especialmente falta de canetas e etiquetas, a causa Z à falta de *stock* de material de vestuário de substituição, com maior incidência para a falta de luvas e a causa W associada a outras situações pontuais, não significativas.

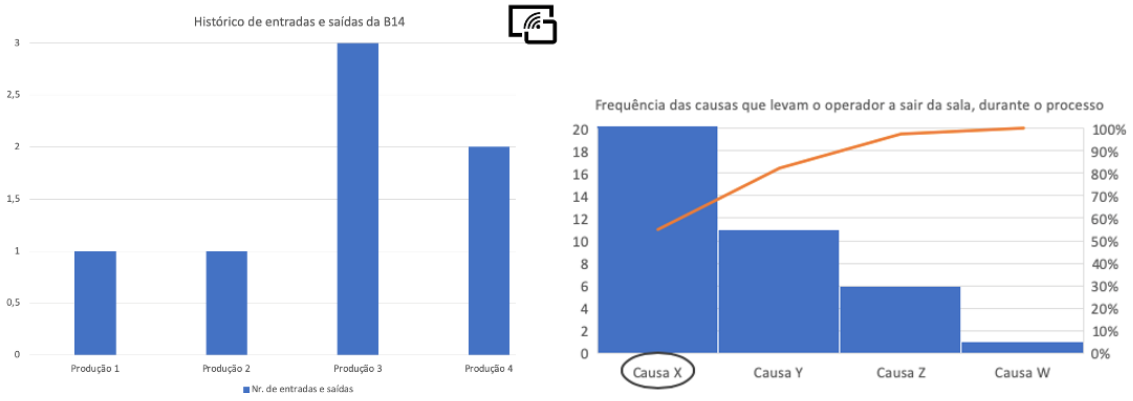


Figura 57 - Quinta secção do dashboard - Histórico de entradas e saídas da sala, e respetivas causas

Sugere-se que, posteriormente, se faça uma análise das razões que levam a que as causas com maior frequência aconteçam. Assim, propõe-se neste *dashboard* a utilização de uma ferramenta denominada Diagrama de *Ishikawa* na qual se apresentam os diversos fatores, controláveis ou não, que estão na origem da causa em estudo. O diagrama deve ser preenchido, quando necessário, durante as reuniões

de produção, em conjunto com todos os operadores. No presente caso sugere-se que se preencha uma tabela, cujas colunas se destinam a cada causa em particular, e cujas linhas representam os vários fatores para cada causa (*Figura 58*, à esquerda). Assim, após o preenchimento, cada fator aparecerá de forma automática no Diagrama de *Ishikawa* de cada causa (*Figura 58*, à direita). Cada diagrama criado, surgirá automaticamente na última secção presente neste dashboard, tal como ilustrado pela *Figura 59*.

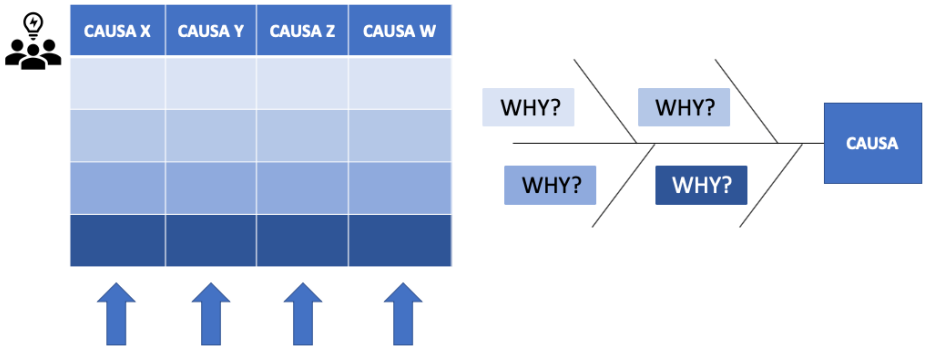


Figura 58 - Modo de preenchimento automático do Diagrama de Ishikawa

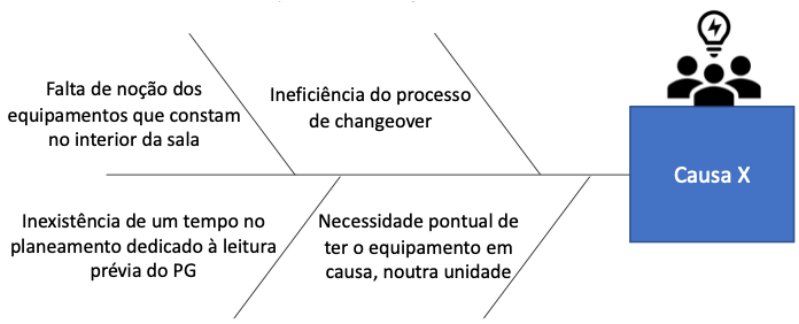


Figura 59 - Sexta secção do dashboard - Exemplo ilustrativo dos fatores que podem influenciar a Causa X

Anexo E – Análise de custos (estimativa para um caso real)

Os custos podem subdividir-se em três categorias:

- Construção dos sensores (*Tabela 14*);
- Instalação dos sensores;
- Desenvolvimento do *dashboard*;
- Formação/treino aos operadores.

Para estimar os custos associados à sensorização proposta no subcapítulo 6.2, foi necessário fazer algumas assunções, das quais se destacam: a presença de 10 equipamentos, em média, no interior de cada sala e que cada sala só contém uma gaveta destinada à arrumação dos diversos tipos de registo.

Tabela 14 - Seleção dos componentes a utilizar em cada proposta de sensorização

PROPOSTA 1 Esperas da peça para montar			**PROPOSTA 2** Entradas e saídas da sala			**PROPOSTA 3** Equipamentos presentes na sala			**PROPOSTA 4** Registo de *logbooks*, etiquetas de operação e de limpeza		
Componente	Qt.	Custo/unid. [€]	Componente	Qt.	Custo/unid. [€]	Componente	Qt.	Custo/unid. [€]	Componente	Qt.	Custo/unid. [€]
Condensador cerâmico 22 pF 50V	2	0,09	Condensador cerâmico 22 pF 50V	2	0,09	Condensador cerâmico 22 pF 50V	2	0,09	Condensador cerâmico 22 pF 50V	2	0,09
Condensador cerâmico 100 nF 50V	1	0,12	Condensador cerâmico 100 nF 50V	1	0,12	Condensador cerâmico 100 nF 50V	1	0,12	Condensador cerâmico 100 nF 50V	1	0,12
Condensador cerâmico 1 µF 50 V	2	0,14	Condensador cerâmico 1 µF 50 V	2	0,14	Condensador cerâmico 1 µF 50 V	2	0,14	Condensador cerâmico 1 µF 50 V	2	0,14
Barra de 20 pinos macho 2.54mm para PCB	1	0,22	Barra de 20 pinos macho 2.54mm para PCB	2	0,22	Botão de pressão ON 250V 10 A	10	2,75	Barra de 20 pinos macho 2.54mm para PCB	2	0,22
Resistência de 1k	1	0,09	Resistência de 10k	1	0,09	LED bicolor 3 pin 5 mm Verm/Verde	30	0,97	Resistência de 1k	9	0,09
Resistência de 10k	1	0,09	Microcontrolador ATMega328P-PU	1	6,75	Barra de 20 pinos macho 2.54mm para PCB	7	0,22	Resistência de 10k	1	0,09

Regulador de tensão 5V 1.5A	1	0,86	Regulador de tensão 5V 1.5A	1	0,86	Resistência de 1k	26	0,09	LED bicolor 3 pin 5 mm Verm/Verde	3	0,97
Microcontrolador ATMega328P-PU	1	6,75	LCD 4.3 Polegadas	1	35,44	Resistência de 10k	3	0,09	Buzzer 5V Sounder	1	0,74
Cristal 16 MHz	1	0,49	Sensor magnético para as portas	2	1,76	Microcontrolador ATMega328P-PU	1	6,75	Microcontrolador ATMega328P-PU	1	6,75
LCD 4.3 Polegadas	1	35,44	Cristal 16 MHz	1	0,49	Regulador de tensão 5V 1.5A	1	0,86	Regulador de tensão 5V 1.5A	1	0,86
PCB com o circuito integrado	1	5	PCB com o circuito integrado	1	5	LCD 4.3 Polegadas	1	35,44	LCD 4.3 Polegadas	1	35,44
Sensor de pressão resistivo	1	39,36	Pilha botão de lítio	3	2,99	Cristal 16 MHz	1	0,49	PCB com o circuito integrado	1	5
Arduino UNO	1	3	----------	----	--------	PCB com o circuito integrado	1	5	Sensor de pressão resistivo	3	39,36
Pilha botão de lítio	3	2,99	----------	----	--------	Pilha botão de lítio	3	2,99	Pilha botão de lítio	3	2,99

$$\boldsymbol{Proposta\ 1} = 2 \times 0{,}09 + 0{,}12 + 2 \times 0{,}14 + 0{,}22 + 2 \times 0{,}09 + 0{,}86 + 6{,}75 + 0{,}49 + 35{,}44 + 5 + 39{,}36 + 3 + 3 \times 2{,}99 = \mathbf{100{,}85}€$$

$$\boldsymbol{Proposta\ 2} = 2 \times 0{,}09 + 0{,}12 + 2 \times 0{,}14 + 2 \times 0{,}22 + 0{,}09 + 6{,}75 + 0{,}86 + 35{,}44 + 2 \times 1{,}76 + 0{,}49 + 5 + 3 \times 2{,}99 = \mathbf{62{,}14}€$$

$$\boldsymbol{Proposta\ 3} = 2 \times 0{,}09 + 0{,}12 + 2 \times 0{,}14 + 10 \times 2{,}75 + 30 \times 0{,}97 + 7 \times 0{,}22 + 26 \times 0{,}09 + 3 \times 0{,}09 + 6{,}75 + 0{,}86 + 35{,}44 + 0{,}49 + 5 + 3 \times 2{,}99 = \mathbf{118{,}84}€$$

$$\boldsymbol{Proposta\ 4} = 2 \times 0{,}09 + 0{,}12 + 2 \times 0{,}14 + 2 \times 0{,}22 + 10 \times 0{,}09 + 3 \times 0{,}97 + 0{,}74 + 6{,}75 + 0{,}86 + 35{,}44 + 5 + 3 \times 39{,}36 + 3 \times 2{,}99 = \mathbf{180{,}67}€$$

$$\boldsymbol{Custo\ total\ propostas}\ [€] = (100{,}85 + 62{,}14 + 118{,}84 + 180{,}67) \times 8 = \mathbf{3700}€$$

A instalação destes sensores e a realização dos respetivos testes ao seu funcionamento são realizadas somente por um colaborador especializado na área (técnico profissional). Assumindo que um dia de trabalho regular tem a duração de 8h e que se contratou com o técnico um valor de 10€/h, obtém-se um custo diário de 80€. Visto que esta instalação em todas as unidades tem a duração média de 2 dias, o custo total associado é de **160€.**

Para o desenvolvimento do *dashboard* é necessário contratar os serviços de um colaborador da área de informática (nível de especialização mais elevada que o técnico anteriormente referido). Visto tratar-se de um *dashboard* de simples e rápida conceção, basta requerer os seus serviços durante uma manhã (4h de trabalho). Assim, assumindo que o contrato de um técnico especializado requere um custo de 12€/h, obtém-se um custo total de **48€.**

Por último, é necessário ensinar pelo menos dois operadores a utilizar os respetivos sensores. Para isso, sugere-se a realização de uma sessão experimental com o técnico profissional, durante uma manhã. Posteriormente, o conhecimento do seu modo de funcionamento é transmitido por estes operadores numa reunião de produção. Relembrando que o custo de contratação do técnico será de 40€ e que se considera que os dois operadores estão totalmente dedicados a esta formação durante toda a manhã (96€) o custo total de treino aos operadores é de **136€**.

Assim, contabilizando todos os custos supramencionados, é possível estimar o investimento total para a aplicação à realidade empresarial do caso de estudo:

$$\boldsymbol{Custo\ total}\ [€] = 3700 + 160 + 48 + 136 = \mathbf{4044}€$$

Importa salientar que se trata somente de uma estimativa de investimento. O valor poderá sofrer alterações consoante diferentes exigências por parte dos técnicos, ou caso o tempo de instalação e de realização de testes aos sensores não seja suficiente. Visto que se trata de uma empresa onde os registos manuais são uma realidade, e que a evolução para a utilização de tecnologias de informação e comunicação é receada, é possível concluir que com um investimento não muito significativo, é possível monitorizar automática e continuamente as soluções implementadas, garantindo a estabilidade e o sucesso na sua standardização.