

***Lean Laboratory – Proposta de Aplicação de
Lean a Laboratórios de Ensino e Investigação***
Versão Final Após Defesa

Sara Débora Morgado Marcelino

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial
(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Prof. Doutora Tânia Daniela Felgueiras de Miranda Lima
Coorientador: Prof. Doutor Pedro Miguel de Figueiredo Dinis Oliveira Gaspar

agosto de 2022

Agradecimentos

A chegada a esta etapa do meu percurso académico contou com o apoio de várias pessoas. Assim sendo, quero agradecer:

À Prof. Doutora Tânia Lima por toda a sua ajuda, incentivo, disponibilidade, sugestões e tempo despendido na revisão desta dissertação, bem como pelos conhecimentos que me transmitiu e pelo seu exemplo de rigor, empenho e humildade.

Ao Prof. Doutor Pedro Gaspar por todo o auxílio, pelas sugestões dadas que enriqueceram este trabalho e pelo entusiasmo contagiante que demonstra no exercício da sua profissão.

A todos os que participaram neste estudo e aos que me transmitiram novos conhecimentos sobre o funcionamento do Laboratório de Automação e Robótica, que foram imprescindíveis à realização da dissertação. Em particular, quero agradecer ao Sr. Paulo Guerra, ao Martim Aguiar, ao Rafael Rei, ao Estêvão Ananias, ao Sérgio Simões e ao Emanuel Moreira.

Aos docentes da Universidade da Beira Interior que se preocupam genuinamente com a aprendizagem dos seus discentes.

Aos amigos com quem tive o privilégio de partilhar o meu percurso académico, principalmente à Maria Inês Iglésias, à Ana Agostinho, ao Vasco Lopes e ao Tiago Canhão.

Aos meus pais, Virgílio e Aida, por tudo o que me ensinaram, pelos princípios e valores que me transmitiram e pelo seu exemplo de diligência, pensamento crítico e fé.

À minha querida irmã e amiga Marta por todo o seu apoio, conselhos, preocupação e pelo seu exemplo inspirador, tanto de pertinácia, como de humildade.

Ao Tiago Martins pelo seu auxílio, disponibilidade e amizade.

Aos meus amigos por todo o apoio e compreensão e a todos aqueles que, de diferentes formas, foram uma força motriz para completar esta etapa.

Folha em branco

Resumo

Desde o seu surgimento na indústria automóvel, a aplicação da filosofia *Lean* expandiu-se a diversas organizações, manufatureiras e não manufatureiras, com o objetivo de reduzir os desperdícios. Apesar desta filosofia se estar a tornar popular, inclusivamente em organizações que fornecem serviços, existem poucos estudos que apliquem ferramentas *Lean* aos processos de ensino e aprendizagem. Além disso, a literatura não contém Modelos de Apoio à Decisão, baseados na filosofia *Lean*, apropriados à gestão de *stocks* em laboratórios de ensino e investigação.

Perante esta lacuna na literatura, foram utilizadas ferramentas *Lean*, nomeadamente, o 5S, a Gestão Visual e o *Single Minute Exchange of Die* (SMED) para melhorar a organização do espaço e, conseqüentemente, a eficiência das atividades de investigação e ensino desenvolvidas num laboratório universitário de robótica e automação. Adicionalmente, foi concebido um Modelo de Apoio à Decisão que consiste num *e-kanban* para a gestão de *stocks* em laboratórios de ensino e investigação. As fórmulas matemáticas incorporadas neste modelo permitem determinar quando e em que quantidade se deve efetuar uma encomenda, levando em consideração fatores como as variações da procura de componentes ao longo do ano letivo, o nível de procura (alto ou baixo) de cada artigo e a deterioração a que os componentes mais frágeis estão sujeitos.

Para a testagem do Modelo de Apoio à Decisão, utilizou-se como exemplo um conjunto de artigos que integra o protocolo de uma atividade laboratorial.

A aplicação das ferramentas *Lean* permitiu reduzir movimentos desnecessários e tempos de espera. Comparando o tempo de preparação para efetuar um procedimento experimental no laboratório do estudo de caso antes e depois da implementação de ferramentas *Lean*, verificou-se uma redução de 93%.

Palavras-chave

Lean Laboratory; Setor do Ensino; Gestão de *stocks*; Modelo de Apoio à Decisão; *e-Kanban*.

Folha em branco

Abstract

Since its emergence in the automotive industry, the Lean philosophy has been adopted in several organizations, both manufacturing, and non-manufacturing, with the aim of reducing waste. Although this philosophy is becoming popular, even in organizations that provide services, few studies apply Lean tools to teaching and learning processes. Furthermore, the literature does not contain Decision Support Systems based on the Lean philosophy, suitable for stock management in teaching and research laboratories.

Given this gap in the literature, Lean tools were used, namely 5S, Visual Management, and Single Minute Exchange of Die (SMED) to improve the organization of space and, consequently, the efficiency of research and teaching activities carried out in a university laboratory of robotics and automation. Furthermore, a Decision Support System was designed, which consists in an e-Kanban for stock management in teaching and research laboratories. The mathematical formulas incorporated in this model make it possible to determine when and in what quantity an order should be placed, considering factors such as variations in demand for components throughout the school year, the level of demand (high or low) for each item and the deterioration to which the most fragile components are subject.

For testing the Decision Support System, a set of articles that integrates the protocol of a laboratory activity was used as an example.

The application of Lean tools allowed to reduce unnecessary movements and waiting times. Comparing the setup time to make an experimental procedure in the case study laboratory, before and after the implementation of Lean tools, there was a reduction of 93%.

Keywords

Lean Laboratory; Education Sector; Stock Management; Decision Support System; e-Kanban.

Folha em branco

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Acrónimos	xv
Capítulo 1: Introdução	1
1.1. Contextualização do Trabalho Desenvolvido	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Metodologia	3
1.4. Estrutura da Dissertação	4
Capítulo 2: Filosofia <i>Lean</i>	5
2.1. Definições e Objetivos.....	5
2.2. Evolução Histórica	6
2.3. Princípios da Filosofia <i>Lean</i>	13
2.4. Desperdícios	18
2.5. Ferramentas <i>Lean</i>	23
2.5.1. 5S.....	24
2.5.2. <i>Single Minute Exchange of Die</i>	25
2.5.3. <i>Kanban</i> e <i>e-Kanban</i>	27
2.5.4. Gestão Visual	29
2.5.5. <i>Andon</i>	29
2.5.6. <i>Gemba</i>	30
2.5.7. <i>Heijunka</i>	30
2.5.8. <i>Jidoka</i>	32
2.5.9. <i>Just-in-Time</i>	32
2.5.10. <i>Kaizen</i>	32
2.5.11. <i>Poka-Yoke</i>	33
2.5.12. <i>Takt Time</i>	33
2.5.13. <i>Total Productive Maintenance</i>	33
2.5.14. <i>Value Stream Mapping</i>	34
Capítulo 3: <i>Lean Laboratory</i>	37
3.1. Conceitos Fundamentais.....	37

3.2. Aplicações Práticas.....	39
Capítulo 4: Gestão de Stocks	43
4.1. Modelo de Apoio à Decisão <i>Lean</i>	43
4.2. Modelos Quantitativos	45
Capítulo 5: Contextualização do Caso Prático.....	49
5.1. Caracterização do Laboratório de Automação e Robótica.....	49
5.2. Levantamento Inicial e Objetivos de Melhoria	51
Capítulo 6: Aplicação das Ferramentas <i>Lean</i>.....	55
6.1. Caracterização das Propostas de Melhoria.....	55
6.1.1. 5S, Gestão Visual e SMED.....	55
6.1.2. Modelo de Apoio à Decisão <i>e-Kanban</i>	56
6.2. Implementação das Ferramentas.....	62
6.2.1. 5S, Gestão Visual e SMED	62
6.2.2. Cenário de Utilização do Modelo de Apoio à Decisão <i>e-Kanban</i>	65
6.3. Discussão de Resultados	73
Capítulo 7: Considerações Finais	75
7.1. Conclusões	75
7.2. Limitações ao Estudo	76
7.3. Propostas de Trabalhos Futuros.....	76
Bibliografia	79
Anexo I.....	89
Anexo II	97

Lista de Figuras

Figura 1. Evolução histórica do conceito " <i>Lean</i> "	10
Figura 2. Cronologia do surgimento de novos conceitos <i>Lean</i>	12
Figura 3. Casa Toyota	14
Figura 4. Princípios da filosofia <i>Lean</i>	15
Figura 5. Relação entre os princípios e ferramentas <i>Lean</i>	23
Figura 6. Etapas da ferramenta 5S	24
Figura 7. Exemplo de programação da produção por tipo de itens	31
Figura 8. Imagem inicial de local de armazenamento de componentes do LAR.....	52
Figura 9. Materiais necessários para executar medição de temperatura.....	53
Figura 10. Etapas para a ordenação dos materiais.....	56
Figura 11. Codificação proposta no MAD	61
Figura 12. Numeração atribuída em função da localização.....	61
Figura 13. Armário 2.....	63
Figura 14. Identificação do número de fabricante nas gavetas de arrumação	64
Figura 15. Página inicial do Modelo de Apoio à Decisão.....	65
Figura 16. Folha "Planeamento Semestral"	66
Figura 17. Folha " <i>Stock</i> de Segurança"	67
Figura 18. Folha "Cálculos Auxiliares"	70
Figura 19. Folha "Dados"	71
Figura 20. Folha " <i>e-Kanban</i> "	72

Lista de Tabelas

Tabela 1. Caracterização de conceitos <i>Lean</i>	12
Tabela 2. Exemplo de programação da produção por quantidade de itens	31
Tabela 3. Princípios <i>Lean</i> num contexto laboratorial de ensino e investigação	38
Tabela 4. Casos práticos analisados sobre aplicação de <i>Lean</i> em laboratório no setor do ensino	40
Tabela 5. Tempos de execução da medição da temperatura	53
Tabela 6. Tempos de execução da medição da temperatura após a implementação de ferramentas <i>Lean</i>	64
Tabela 7. Reduções obtidas no tempo médio de execução da medição de temperatura.....	73

Folha em branco

Lista de Acrónimos

CSL	<i>Customer Service Level</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i>
GARCH	<i>Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity</i>
JIT	<i>Just-in-Time</i>
LAR	Laboratório de Automação e Robótica
LL	<i>Lean Laboratory</i>
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
LT	<i>Lean Thinking</i>
MAD	Modelo de Apoio à Decisão
MSE	<i>Mean Squared Error</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
TMC	<i>Toyota Motor Company</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
UBI	Universidade da Beira Interior
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

Folha em branco

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo apresenta-se a contextualização do trabalho de pesquisa que se pretende desenvolver, designadamente, identifica-se a temática a ser estudada, a importância da mesma e o que se pretende acrescentar ao conhecimento já existente. Nas secções seguintes, apresentam-se ainda os objetivos definidos, a metodologia selecionada e a estrutura da dissertação.

1.1. Contextualização do Trabalho Desenvolvido

As competências em Engenharia e Gestão Industrial incluem o desenvolvimento e otimização de processos, o que requer conhecimento de vários aspetos da filosofia *Lean* (Silva Delgado, Kapanen and Dressler, 2020).

Os princípios e práticas da Gestão *Lean* proporcionam elevados níveis de eficiência e qualidade nos processos de negócio, através da minimização de desperdício e têm por objetivo alcançar o máximo em termos de *output* com o mínimo de *inputs* (Silva Delgado, Kapanen and Dressler, 2020; Sharma, Prasad and Srinivasa Rao, 2021).

A filosofia *Lean* é um sistema de melhoria contínua que surgiu, predominantemente, a partir das metodologias adotadas pela Toyota e do *Toyota Production System* (TPS), que geraram altos níveis de qualidade e lucros corporativos sustentados (Grabian and Padgett, 2008).

A teoria basilar do *Lean* pode resumir-se em duas palavras: remover desperdício, entendendo-se por “desperdício” qualquer coisa desnecessária para produzir um produto ou serviço (Herasuta, 2007).

A aplicação desta filosofia pode ser muito benéfica quer num ambiente laboratorial (Herasuta, 2007), quer no setor educativo (Sremcevic *et al.*, 2018), através da eliminação de desperdício na organização e na própria preparação e execução de atividades laboratoriais educativas, tornando o processo de aprendizagem mais efetivo e eficiente.

A grande maioria dos estudos sobre a aplicação da filosofia *Lean* em laboratórios voltam-se para a área da saúde. De facto, o termo “*Lean Laboratory*” (LL) não foi ainda aplicado a laboratórios de ensino e investigação para se referir à implementação de ferramentas *Lean* com o objetivo de melhorar a eficiência de atividades laboratoriais. Na literatura científica, são escassos os estudos que aplicam ferramentas *Lean* ao processo de ensino e aprendizagem (Sremcevic *et al.*, 2018), para reduzir os desperdícios existentes na execução de atividades laboratoriais.

No Laboratório de Automação e Robótica (LAR) da Faculdade de Engenharias da Universidade da Beira Interior (UBI) identificou-se a necessidade de organizar o espaço de trabalho, de forma a facilitar a procura de componentes essenciais à execução de atividades de ensino e investigação. Além disso, identificou-se a necessidade de melhorar a gestão de *stocks* de forma a colmatar a frequente escassez de materiais.

Adicionalmente, existe uma escassez de referências na literatura acerca da descrição de Modelos de Apoio à Decisão (MAD) que auxiliem a gestão de *stocks*, utilizando a filosofia *Lean* (Agostinho *et al.*, 2021) e, em particular que se apliquem a laboratórios de ensino e investigação.

Assim, espera-se que esta dissertação tenha um contributo, não só para a literatura científica sobre a aplicação da filosofia *Lean* em laboratórios de ensino e investigação, mas também para proporcionar melhorias ao nível da organização do espaço e controlo de *stocks* no LAR, o que poderá agilizar as atividades laboratoriais que aí se realizam, melhorar a disponibilidade de componentes e contribuir, desse modo, para a melhoria dos processos de aprendizagem e investigação.

1.2. Objetivos

A dissertação tem como objetivo geral a preconização e implementação de ferramentas *Lean* no LAR da Faculdade de Engenharias da UBI, que permitam a melhoria da eficiência das atividades de investigação e ensino desenvolvidas no mesmo.

Para se atingir este objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- Estruturação do problema de investigação, considerando os objetivos fundamentais e prioritários no LAR;
- Pesquisa e revisão do estado da arte sobre LL e MADs baseados na filosofia *Lean* para a gestão de *stocks*;

- Recolha de dados necessários à identificação de oportunidades de melhoria e à preconização de medidas para reduzir desperdícios;
- Identificação de desperdícios;
- Preconização de medidas corretivas concernentes à organização do espaço e proposta de aplicação de um MAD para controlo de *stocks*;
- Implementação de ações corretivas;
- Discussão de resultados e aferição da eficácia e eficiência das ações implementadas.

1.3. Metodologia

A investigação utilizada é do tipo dedutiva, uma vez que a investigação tem por objetivo testar conceitos e padrões conhecidos da teoria usando novos dados empíricos (Bhattacharjee, 2012), mais concretamente, pretende-se testar se a implementação de ferramentas *Lean* num laboratório de ensino e investigação contribui para a redução de desperdícios, à semelhança da sua aplicação noutra tipo de ambientes.

Adicionalmente, a investigação realizada identifica-se com uma perspetiva quantitativa, uma vez que foram utilizados no MAD dados quantitativos, acerca do *stock* existente e nível de procura de diversos itens do LAR. Para além da perspetiva quantitativa, a metodologia selecionada integra também uma perspetiva qualitativa, a qual se caracteriza pela recolha de informação por observações (Bhattacharjee, 2012) e procura obter uma compreensão das razões e motivações subjacentes às ações na tentativa de compreender o cenário de um problema, gerando ideias e/ou hipóteses (Macdonald and Headlam, 2008).

Uma vez que a proposta de aplicação de ferramentas *Lean*, elaboração e a testagem do modelo construído se direcionam ao LAR, pode dizer-se que é utilizado, como metodologia, um estudo de caso.

O estudo de caso corresponde a “uma investigação que se assume como particularística, isto é, debruça-se deliberadamente sobre uma situação específica que se supõe ser única ou especial, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico e, desse modo, contribuir para a compreensão global de um fenómeno de interesse” (Oliveira and Ferreira, 2014, p.96).

Nesse sentido, a presente investigação, de carácter descritivo, pretende descrever, para além do atual estado da arte, características e funções das atividades da organização em estudo com o objetivo de, no âmbito de uma investigação exploratória, explorar possíveis

estratégias para resolver o problema de investigação e fornecer hipóteses de melhoria (Deb, Dey and Balas, 2019).

1.4. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é constituída por 7 capítulos.

No capítulo 1, apresenta-se a contextualização do trabalho de pesquisa que se pretende desenvolver, os objetivos definidos, a metodologia utilizada e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2, apresenta-se a revisão bibliográfica sobre a filosofia *Lean*, explorando-se os principais conceitos que lhe estão associados, evolução histórica, princípios, desperdícios e principais ferramentas.

No capítulo 3, é apresentado o conceito LL e são analisadas aplicações da filosofia *Lean* em laboratórios do setor do ensino, mais concretamente, são referidos para cada contexto de aplicação, os desperdícios identificados, as ferramentas ou práticas *Lean* implementadas e os resultados atingidos.

No capítulo 4, são revistos artigos que fundamentam a elaboração do MAD, sendo identificados MADs já elaborados com base na filosofia *Lean* e modelos matemáticos para o cálculo do *stock* de segurança, utilizando previsões da procura.

No capítulo 5, apresenta-se a contextualização do caso prático, caracterizando-se sucintamente a organização e o laboratório onde se concretiza o estudo de caso. Neste capítulo caracteriza-se o LAR, apresenta-se o levantamento inicial e mencionam-se os objetivos de melhoria.

No capítulo 6, descreve-se a aplicação das ferramentas *Lean*, explanando-se as propostas de melhoria e a respetiva implementação. Este capítulo tem ainda por objetivo apresentar a discussão de resultados, através da comparação da situação anterior com a posterior à implementação de ferramentas *Lean*.

Por fim, no capítulo 7, apresentam-se as principais conclusões, limitações do estudo e linhas de investigação futura.

Capítulo 2

Filosofia *Lean*

Neste capítulo, caracteriza-se a filosofia *Lean* e sumariza-se a sua evolução histórica. Seguidamente, são apresentados os seus princípios, fontes de desperdício e as suas principais ferramentas.

2.1. Definições e Objetivos

Neste subcapítulo expõem-se algumas definições e objetivos relacionados com a filosofia *Lean*, mais especificamente, descrevem-se, por ordem, as definições do *Lean Manufacturing* (LM), *Lean* e *Lean Thinking* (LT).

Dadas as suas numerosas facetas e possíveis aplicações, o conceito *Lean* tem sido definido de diferentes formas. Sinha and Matharu (2019) elaboraram uma síntese de algumas dessas definições, as quais se apresentam seguidamente.

Segundo Krafcik (1988), o LM relaciona-se com a utilização de menos recursos organizacionais comparativamente aos recursos despendidos na produção em massa.

Já de acordo com Womack, Jones and Roos (1990), o LM diz respeito à fusão da produção em massa com a produção artesanal composta por um conjunto de princípios e melhores práticas visando a melhoria contínua.

Em conformidade com Seyedhosseini and Ebrahimi-Taleghani (2015), o *Lean* é um sistema integrado composto por elementos interrelacionados e práticas de gestão que visam entregar valor aos clientes. Por outro lado, para Shah and Ward (2007), a produção *Lean* define-se como sendo um sistema sociotécnico com foco na eliminação de desperdícios em toda a organização, bem como na sua rede da cadeia de abastecimento.

O *Lean* também já foi definido como um conjunto de técnicas para reduzir o desperdício, como filosofia de gestão, ou como um sistema sociotécnico para agregar valor aos clientes. O facto de não existir uma definição consensual para o termo *Lean* reflete a sua expansão ao longo do tempo, assim como a sua natureza configurável (Sinha and Matharu, 2019).

Atualmente, LM é a expressão mais usada para referir a aplicação de *Lean* em operações industriais (Gil-Vilda, Yagüe-Fabra and Sunyer, 2021). O LM tem tido por objetivo alcançar a excelência operacional e, desta forma, atender a objetivos organizacionais tradicionais e contemporâneos, como rentabilidade, eficiência, capacidade de resposta, qualidade e satisfação do cliente (Garza-Reyes *et al.*, 2018).

À medida que o conceito *Lean* se passou a aplicar a ambientes não industriais, foram surgindo novos termos. Nomeadamente, desde 1992 a 1996, alguns autores introduziram expressões como “*Lean Management*”, “*Lean Enterprise*” e “*Lean Thinking*”, elevando a aplicação do “*Lean*” a contextos não manufatureiros, nomeadamente ao setor dos serviços (Gil-Vilda, Yagüe-Fabra and Sunyer, 2021).

Apesar de não existir uma definição única, pode considerar-se o LT como sendo um conjunto de princípios e ferramentas na manufatura para aumentar a qualidade de produtos ou serviços, margens de lucro e quota de mercado, através da melhoria contínua de processos e do foco na satisfação do cliente e no bem-estar dos trabalhadores (Jiang *et al.*, 2021).

A filosofia *Lean* admite que existem atividades que acrescentam valor, isto é, que transformam um produto ou serviço, pelas quais clientes ou utilizadores estão dispostos a pagar, e atividades que não acrescentam valor. Um dos principais objetivos da aplicação do LT prende-se com a eliminação de desperdícios que não acrescentam valor a um produto ou serviço (Hallam and Contreras, 2018).

Apesar do LT se ter originado a partir de uma filosofia de produção desenvolvida pela empresa Toyota, que se concentra na maximização de valor para o cliente, minimizando todas as formas de desperdício (Mazzocato *et al.*, 2010), os seus conceitos basilares surgiram muitos anos antes, como se explica no subcapítulo seguinte.

2.2. Evolução Histórica

O termo “*Lean*” foi utilizado pela primeira vez por John Krafcik, em 1988. No entanto, o surgimento dos fundamentos do *Lean* remonta a anos anteriores ao século XX. De facto, a gestão *Lean* é o culminar de anos de melhoria contínua na área da Engenharia e Gestão Industrial numa escala global (Protzman *et al.*, 2018; Sinha and Matharu, 2019).

O *Lean* tem as suas raízes nos Estados Unidos. Nomes notáveis como Frank e Lillian Gilbreth, Frederick Taylor e Henry Ford preconizaram princípios que compõem a filosofia *Lean* atualmente (Protzman *et al.*, 2018).

Na impossibilidade de mencionar todas as pessoas e empresas que contribuíram, ao longo do tempo, para o desenvolvimento da filosofia *Lean*, apresenta-se seguidamente um breve resumo da sua evolução histórica.

Muitos autores atribuem a origem do LM à Toyota, considerando-o fruto da experiência do engenheiro Taiichi Ohno. No entanto, algumas das ferramentas e conceitos *Lean* eram conhecidos antes. Por exemplo, a divisão do trabalho, desenvolvida por Adam Smith (século XVIII), é uma fonte de aumento de produtividade e de eliminação de tempos mortos. Este princípio constitui um dos aspetos essenciais da padronização do trabalho, o que, por sua vez, representa um aspeto fundamental do LM (Abadi, Elrhanimi and Manti, 2020).

Outro conceito que se identifica com o LM é o cálculo do “tempo certo”, desenvolvido por Frederick Taylor (Abadi, Elrhanimi and Manti, 2020). Taylor, no início do século XX, apresentou uma abordagem baseada na divisão de tarefas, eliminação de movimentos desnecessários, medição de tempos de trabalho e determinação do melhor método para a execução de tarefas. A abordagem de Taylor, que ficou conhecido como o pai do estudo do tempo, incluía também a determinação do tempo-padrão para a realização de cada tarefa, tendo em consideração questões de fadiga, atrasos e novos trabalhadores. Taylor concluiu que o aumento de produtividade iria, a longo prazo, eliminar desperdício, reduzir custos e providenciar produtos a um custo mais reduzido (Protzman *et al.*, 2018).

O trabalho de Frank e Lillian Gilbreth, ainda que relacionado com o trabalho de Taylor, veio introduzir conceitos diferentes. Enquanto Taylor se concentrava na cronometragem dos tempos de realização das tarefas para extrair eficiência dos trabalhadores, os estudos de movimento dos Gilbreth contribuíram para facilitar o desempenho das tarefas aos trabalhadores e eliminar movimentos desnecessários na sua execução (Protzman *et al.*, 2018).

Henry Ford é outro nome importante relativamente à evolução do conceito *Lean*. Apesar do *Lean* ser frequentemente associado a um sistema japonês, a maioria das suas

ferramentas tiveram origem no *benchmarking*¹ da empresa de Ford (Protzman *et al.*, 2018).

Durante a Segunda Revolução Industrial, Ford estava a desenvolver nas suas fábricas de automóveis um novo modelo de produção em massa, baseando-se na divisão do trabalho, linhas de produção e economias de escala², de forma a reduzir custos (Abadi, Elrhani and Manti, 2020). Além disso, Ford demonstrou uma apreciação pelo foco no cliente, o que representava uma perspetiva avançada para o seu tempo (Protzman *et al.*, 2018).

A Toyota adotou seletivamente diversos elementos do sistema fordista, tendo Kiichiro Toyoda, Taiichi Ohno, e Eiji Toyoda participado na integração desses elementos, adaptando-os à realidade japonesa (Holweg, 2007; Parkes, 2015).

Os criadores do TPS inspiraram-se em modelos americanos, nomeadamente Kiichiro Toyoda utilizou o sistema de fluxo produtivo de Ford e Taichii Ohno adotou o conceito da padronização do trabalho. Além disso, Ohno adotou o conceito de produção conhecido como “*pull system*”³ (baseado no conceito de organização dos supermercados americanos), tendo-o conjugado com uma relevante invenção de Sakichi Toyoda (Parkes, 2015).

Sakichi, pela altura em que fundou a *Toyoda Automatic Loom Works* (1926), inventou um tear mecânico, capaz de detetar e parar automaticamente quando ocorria um problema. Este foi o início do conceito *Jidoka*, que viria a constituir um dos princípios fundamentais do TPS. Sakichi é também creditado pelo desenvolvimento do princípio dos 5 porquês⁴, que se tornaria famoso mundialmente como uma ferramenta *Lean* fundamental de resolução de problemas (Protzman *et al.*, 2018).

A *Toyota Motor Company* (TMC) foi formalmente constituída em 1937 (Holweg, 2007). Nesse mesmo ano, Kiichiro Toyoda, que se tornaria presidente da Toyota entre 1941 e 1950, visita os Estados Unidos, particularmente, a empresa Ford, e começa o

¹ O *benchmarking* pode ser definido como “a procura pelas melhores práticas da indústria que levarão a um desempenho excepcional através da implementação dessas melhores práticas” (Reponen *et al.*, 2021, p.3).

² O termo “economias de escala” refere-se às reduções de custos associadas a grandes volumes de produção. De acordo com Freire (1997), diz respeito à diminuição dos custos unitários através do aumento do volume de operações.

³ O conceito “*pull system*” será explicado no subcapítulo seguinte.

⁴ A técnica dos 5 porquês consiste em perguntar cinco vezes o motivo de um problema ou defeito. Assim, o motivo do defeito é rastreado até se apurar a sua causa final para que ele não se repita (Womack, Jones and Roos, 1990).

desenvolvimento do TPS (Samuel, Found and Williams, 2015) com a ideia do *Just-in-Time* (JIT) (Protzman *et al.*, 2018).

Naquela época, o mercado japonês era dominado pelas subsidiárias locais de Ford e da *General Motors*. Com a Segunda Guerra Mundial, a TMC enfrentou dificuldades financeiras, geradas pela interrupção da produção e pelos *stocks* crescentes de carros não vendidos, resultantes das dificuldades económicas do pós-guerra (Holweg, 2007).

Este evento histórico estimulou o desenvolvimento tanto da eficácia quanto da eficiência na produção e foi importante para o desenvolvimento da teoria da gestão industrial (Protzman *et al.*, 2018).

Após a Segunda Guerra Mundial, Kiichiro incumbiu o seu primo Eiji Toyoda de, num prazo de três anos, levar a Toyota aos padrões tecnológicos dos EUA. Eiji, por sua vez, encarregou Taiichi Ohno, gestor da oficina mecânica, de trabalhar com ele para desenvolver um novo sistema de produção (Protzman *et al.*, 2018).

Em 1949, Taiichi Ohno reorganizou o sistema de produção da Toyota, através da implementação da visão de Kiichiro para o JIT e da automação (*Jidoka* em japonês). Consequentemente, surgiu um novo modelo de produção, denominado TPS (Abbad, Elrhanimi and Manti, 2020).

No início da década de 1960, a empresa Toyota tinha já desenvolvido os princípios do que mais tarde viria a ser chamada “Produção *Lean*” (Womack, Jones and Roos, 1990).

Ohno, considerado o pai do TPS (Protzman *et al.*, 2018), escreveu em 1988 o livro intitulado “*Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*” com base na sua experiência em criar um novo, efetivo e complexo sistema de gestão. De acordo com Ohno, foi a necessidade de produzir carros de elevada qualidade, mas ao menor custo, em conformidade com o volume de encomendas dos clientes, que determinou a mudança no sistema de gestão na Toyota (Parkes, 2015).

Nas palavras de Ohno, o TPS “é baseado apenas na observação da linha do tempo desde o momento em que o cliente faz um pedido até o momento em que ele paga por ele. O que está a ser feito é a redução dessa linha de tempo pela eliminação dos desperdícios sem valor agregado” (Ohno, 1988 cited in Parkers, 2015, p. 117).

Assim, a indústria automóvel transitou da produção em massa, como exemplificado pelo sistema de produção de Ford, para a emergente produção *Lean*, exemplificada pelo TPS (Protzman *et al.*, 2018). Além disso, o sucesso da Toyota proporcionado pela criação e aplicação do TPS tem atraído a procura pelo conhecimento sobre a filosofia *Lean*, conhecimento esse que hoje é transversal a diversos países e indústrias (Parkes, 2015).

Foi a partir do estudo das melhorias operacionais na TMC que emergiu o conceito *Lean* (Silva Delgado, Kapanen and Dressler, 2020). Como supramencionado, em 1988, Krafcik, no seu estudo intitulado “*Triumph of the Lean Production System*”, utilizou pela primeira vez o termo “*Lean*” e foi em 1990, através da obra de Womack, Jones e Roos, que o conceito se popularizou mundialmente (D’Andreamatteo *et al.*, 2015; Sinha and Matharu, 2019).

As etapas marcantes até aqui mencionadas na evolução do conceito *Lean* são apresentadas esquematicamente na Figura 1.

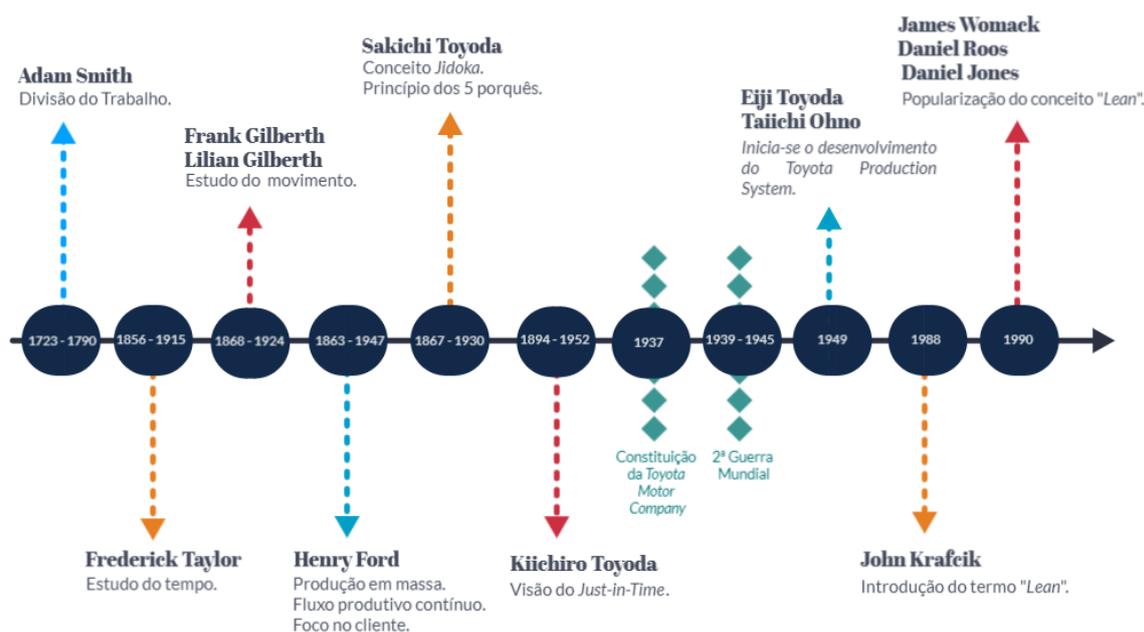


Figura 1. Evolução histórica do conceito "Lean" (Fonte: Adaptado de Holweg, 2007; Parkes, 2015; Samuel, Found and Williams, 2015; Protzman *et al.*, 2018; Sinha and Matharu, 2019; Abbadi, Elrhanimi and Manti, 2020)

A publicação de Womack, Jones e Roos de 1990 foi o resultado de um estudo de cinco anos que usou a palavra “*Lean*” para assinalar a diferença da *performance* entre o setor automóvel japonês, o qual enfrentava a escassez de recursos, e os típicos sistemas de produção ocidentais do mesmo setor (Samuel, Found and Williams, 2015). Esta

publicação contribuiu para a ampla adoção da filosofia *Lean* nos setores produtivos e dos serviços, sendo considerada um catalisador para uma mudança no pensamento de gestão, que já dura há mais de 30 anos, que tem sofrido muitas críticas e que continua a ser um tópico de investigação de interesse (Samuel, Found and Williams, 2015; Sinha and Matharu, 2019).

De forma resumida, pode dizer-se que o *Lean* teve a sua origem numa sucessão de inovações na TMC para enfrentar a escassez de recursos e uma forte competição (Jiang *et al.*, 2021).

Originalmente apresentado como uma alternativa contraintuitiva à manufatura tradicional, o *Lean* expandiu-se a outras áreas funcionais de organizações manufatureiras e não manufatureiras (Samuel, Found and Williams, 2015). De facto, a filosofia *Lean* tem evoluído para um âmbito interdisciplinar, relacionando-se com Gestão de Operações, Comportamento Organizacional e Gestão Estratégica (Sinha and Matharu, 2019).

Em particular, o LT está a tornar-se popular em organizações que fornecem serviços. Muitos investigadores e profissionais reconhecem que, ainda que o LT se tenha originado na indústria manufatureira, a sua aplicação no setor dos serviços (saúde, finanças, educação, tecnologias de informação e saúde) pode ter um grande potencial (Jiang *et al.*, 2021).

Assim sendo, no âmbito da evolução histórica do conceito *Lean*, importa analisar não só a sequência dos principais eventos e teorias que contribuíram para o seu surgimento, mas também a evolução e diversificação que o conceito tem tido ao longo do tempo. Na Figura 2 identifica-se por ordem cronológica a primeira utilização dos conceitos relacionados com a filosofia *Lean* considerados mais relevantes por Gil-Vilda, Yagüe-Fabra and Sunyer (2021).

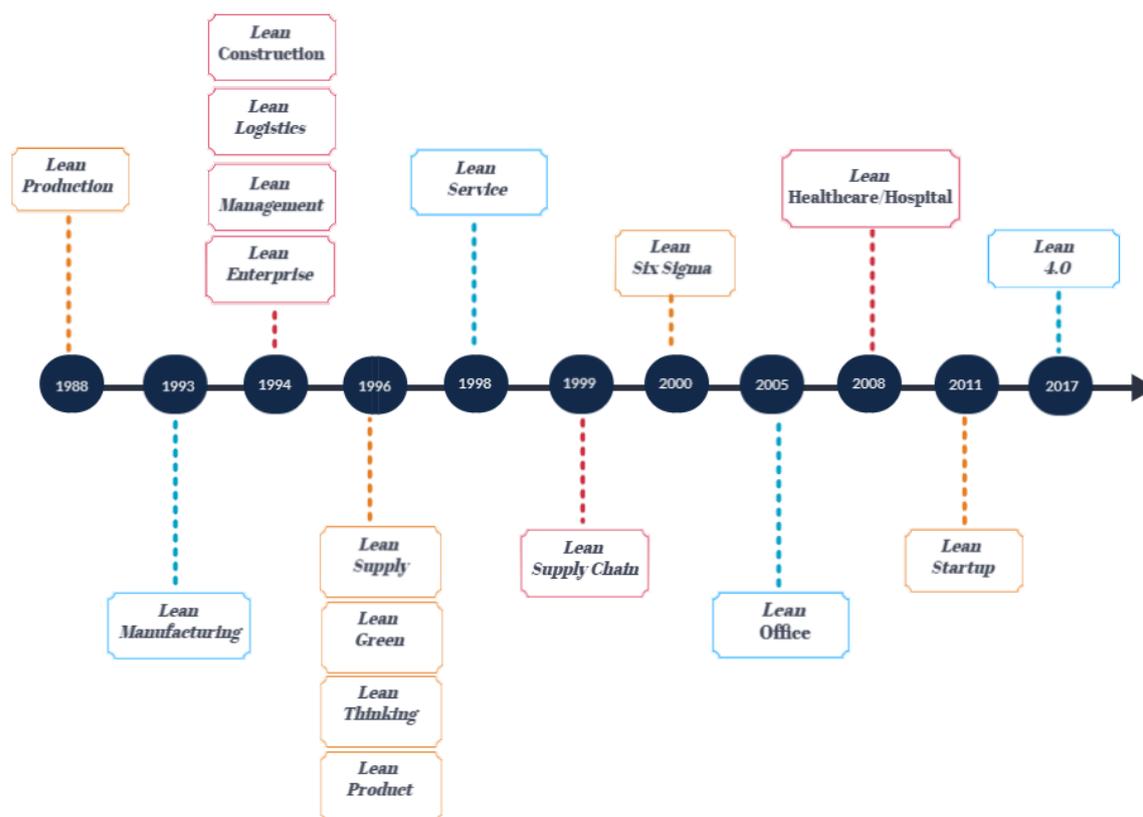


Figura 2. Cronologia do surgimento de novos conceitos *Lean* (Fonte: Adaptado de Gil-Vilda, Yagüe-Fabra and Sunyer, 2021)

Os conceitos que emergiram a partir da primeira utilização do termo “*Lean*”, presentes na Figura 2, são descritos de forma sucinta na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização de conceitos *Lean* (Fonte: Adaptado de Gil-Vilda, Yagüe-Fabra and Sunyer, 2021)

Conceitos	Descrição
<i>Lean Production</i>	Utilizado como alternativa para se referir ao <i>Toyota Production System</i> .
<i>Lean Manufacturing</i>	Utilizado com um sentido similar ao <i>Lean Production</i> , embora se direcione mais para operações fabris.
<i>Lean Logistics</i> <i>Lean Supply</i> <i>Lean Supply Chain</i>	Focam-se na eficiência dos fluxos de materiais dentro e fora da fábrica, integração e desenvolvimento de fornecedores e integração de diferentes atores e informações em toda a cadeia de abastecimento.
<i>Lean Management</i>	Refere-se à adoção de princípios <i>Lean</i> para gerir uma organização inteira.
<i>Lean Enterprise</i>	Refere-se a um grupo de indivíduos, funções e empresas legalmente separadas, mas operacionalmente sincronizadas que criam, vendem e prestam serviços a uma família de produtos.
<i>Lean Construction</i>	Refere-se à adaptação de princípios e ferramentas <i>Lean</i> especificamente à construção civil.

Tabela 1. Caracterização de conceitos Lean (Fonte: Adaptado de Gil-Vilda, Yagüe-Fabra and Sunyer, 2021) (Continuação)

Conceitos	Descrição
<i>Lean Green</i>	Refere-se à integração de melhorias de processo com reduções de impactes ambientais.
<i>Lean Thinking</i>	Refere-se à adoção de uma forma de pensar para fazer melhorias radicais nas organizações, tendo em vista a eliminação de desperdício.
<i>Lean Product</i>	Refere-se ao desenvolvimento de produtos rápido, eficiente e de baixo custo.
<i>Lean Service</i>	Refere-se à aplicação de princípios e ferramentas <i>Lean</i> para melhorar a eficiência de serviços não industriais, como seguradoras, <i>call centers</i> , serviços financeiros, serviços bancários e de saúde.
<i>Lean Six Sigma</i>	Refere-se a uma combinação dos princípios e ferramentas de <i>Lean Manufacturing</i> (redução de desperdício) e <i>Six Sigma</i> (redução de variabilidade e promoção de liderança), que originalmente se voltava para indústrias manufatureiras, mas cuja implementação se estendeu também para os serviços.
<i>Lean Office</i>	Resulta de uma transferência da filosofia <i>Lean</i> para ambientes não fabris com um foco na melhoria da eficiência a nível administrativo.
<i>Lean Healthcare/Hospital</i>	Refere-se a uma transferência da filosofia <i>Lean</i> para os serviços, voltada para os serviços de saúde, incluindo a gestão hospitalar.
<i>Lean Startup</i>	Refere-se à utilização de princípios <i>Lean</i> para lançar novos modelos de negócios, reduzindo o tempo de colocação no mercado e minimizando o investimento inicial e os riscos envolvidos.
<i>Lean 4.0</i>	Resulta de uma combinação de princípios e ferramentas de <i>Lean Production</i> com tecnologias da Indústria 4.0.

Através da análise da diversificação do conceito *Lean*, conclui-se que este tem potencial para se estender a novos campos de pesquisa, sendo os seus princípios e ferramentas passíveis de serem aplicados a diferentes setores. No capítulo seguinte, caracterizam-se os princípios da filosofia *Lean*.

2.3. Princípios da Filosofia *Lean*

Existem semelhanças entre as técnicas e princípios da filosofia *Lean* e a casa do TPS. Uma vez que o *Lean* se desenvolveu a partir do estudo do TPS, torna-se relevante considerar em que é que se baseia este sistema de produção.

O TPS é muitas vezes ilustrado como uma casa, a Casa Toyota. Uma casa é um sistema estrutural que apenas é forte se o teto, pilares e alicerces forem fortes. Apesar de existirem diversas versões da representação da Casa Toyota, os princípios fundamentais são os mesmos (Liker, 2004). Uma representação adaptada de *Lean Enterprise Institute* (2021a) é apresentada na Figura 3.

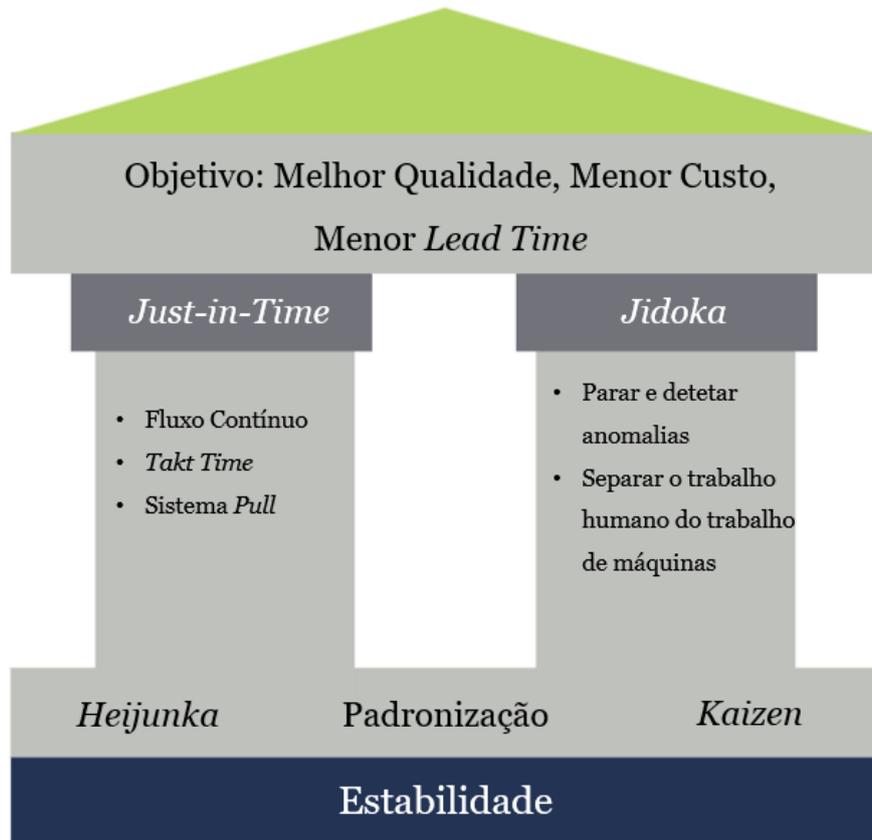


Figura 3. Casa Toyota (Fonte: Adaptado de Lean Enterprise Institute, 2021a)

Para atingir a meta representada no teto da casa, é necessária a presença dos dois pilares da casa Toyota, que são o JIT e *Jidoka* (Liker, 2004).

A abordagem JIT enfatiza a entrega aos clientes do produto certo, na hora certa e na quantidade certa, utilizando a menor quantidade possível de recursos, o que proporciona níveis mínimos de *stocks*, reduzindo, desse modo os custos de manuseamento de *stock* (Dilanthi, 2015).

O outro pilar chama-se *Jidoka*, o que significa que as máquinas devem funcionar automaticamente, minimizando o toque humano, de forma a contribuir para melhorias na qualidade. Além disso, o TPS sugere que, quando ocorrer um erro, a máquina deve identificá-lo e interromper o processamento. Este modo de funcionamento de máquinas

tem como objetivo promover a melhoria da qualidade da produção e minimizar desperdícios (Dilanthi, 2015).

Segundo esta representação gráfica, existe uma sequência lógica que precisa de ser seguida para a implementação do *Lean*. Os fundamentos precisam de ser garantidos em primeiro lugar para que a casa seja construída (Alefari, Salonitis and Xu, 2017).

Dois dos elementos fundamentais são a necessidade de padronização e o *Heijunka*, que significa nivelamento. Nivelar o programa de produção em volume e variedade garante estabilidade e permite a manutenção de um *stock* mínimo. Por outro lado, a existência de grandes picos na produção de determinados produtos em detrimento de outros pode gerar falta de peças, a menos que muitos *stocks* sejam adicionados ao sistema (Liker, 2004).

Outro elemento presente nos alicerces da casa Toyota é o *Kaizen* (Melhoria Contínua), que corresponde a uma estratégia que promove o envolvimento de forma proativa dos trabalhadores, para alcançar melhorias regulares e incrementais no processo de fabricação (Lean Production, 2022a).

Alguns conceitos presentes na Casa Toyota correspondem a ferramentas *Lean* que são descritas no subcapítulo 2.5 e outros correspondem aos 5 princípios *Lean* referidos por Womack and Jones (2003), que se apresentam na Figura 4 e que são caracterizados a seguir.



Figura 4. Princípios da filosofia *Lean* (Fonte: Adaptado de Lean Production, 2022b)

Definição de Valor

A identificação dos clientes é um passo primordial para a aplicação deste princípio, devendo seguir-se a especificação do valor que os clientes estão dispostos a pagar (Dilanthi, 2015).

A definição do valor de um serviço ou produto deve ser feita sob a perspectiva do utilizador final (Isack *et al.*, 2018).

Valor é, de acordo com Womack and Jones (2003), o ponto crítico de partida para o LT, o qual é definido pelo cliente final e criado pelo produtor. O valor deve ser expresso de forma específica, seja sob a forma de produto, serviço ou ambos em conjunto, que atenda às necessidades dos consumidores, a um preço específico e a um tempo específico. Esta etapa permite evitar o fornecimento de um serviço ou bem errado, ainda que da forma certa, o que representa uma forma de desperdício (Womack and Jones, 2003).

Identificar a Cadeia de Valor

A cadeia de valor diz respeito ao conjunto de todas as ações específicas necessárias para trazer um produto específico (seja um bem, um serviço ou, cada vez mais, uma combinação de ambos) ao longo de 3 tarefas críticas de gestão transversais a qualquer negócio (Womack and Jones, 2003):

- A tarefa de solução de problemas (que envolve desde o conceito ao projeto detalhado e engenharia até o lançamento da produção);
- A tarefa de gestão de informações que vai desde o recebimento do pedido até à entrega detalhada;
- A tarefa de transformação física que vai da matéria-prima ao produto acabado nas mãos do cliente.

De forma geral, pode dizer-se que a identificação da cadeia de valor envolve a identificação de todos os passos necessários para criar e entregar um produto ao cliente (Akanbi, Oyedolapo and Steven, 2019).

O mapeamento do fluxo de valor corresponde a um esboço das operações que levam à obtenção de um produto com valor e identifica caminhos alternativos para maximizar o desempenho no processo de construção (Akanbi, Oyedolapo and Steven, 2019).

Assim, a cadeia de valor deve ser identificada e mapeada de forma a distinguir o valor acrescentado do valor não acrescentado (Dilanthi, 2015).

Fluxo

Após o valor ter sido especificado com precisão e a cadeia de valor identificada, eliminando-se etapas e processos desnecessários, segundo o terceiro princípio fundamental da filosofia *Lean*, é necessário garantir um fluxo contínuo e fluido, o que pode implicar a redefinição de funções de trabalho (Womack and Jones, 2003), isto é, a cadeia de valor deve ser organizada de forma que seja contínua através da eliminação de desperdícios (Dilanthi, 2015). Segundo a Lean Production (2022b), as estratégias para melhorar o fluxo incluem:

- Reduzir os tempos de *setup*;
- Evitar operações em lote, que dificultam o fluxo e criam inerentemente gargalos⁵, filas e *stocks*;
- Organizar o equipamento.

Permitir que os produtos e/ou serviços fluam sem constrangimentos, através das estratégias mencionadas, poderá melhorar drasticamente a capacidade de resposta às mudanças da procura do mercado (Lean Production, 2022b).

Pull System

O quarto princípio fundamental relaciona-se com a capacidade de projetar, programar e fazer exatamente o que o cliente/utilizador quer e quando quer. Segundo este princípio, deve permitir-se que sejam os clientes a puxar, ou extrair (*pull*), valor da empresa (Womack and Jones, 2003), entregando o produto assim que necessário. Este princípio relaciona-se com a aplicação do JIT para atender às necessidades do cliente e, posteriormente, customizar e entregar produtos de forma mais previsível (Akanbi, Oyedolapo and Steven, 2019).

Segundo o sistema *pull*, uma organização deve atender à procura dos clientes a jusante (Dilanthi, 2015), visto que torna muito mais fácil reduzir o *stock* de produtos acabados. Este princípio é importante porque *stocks* excessivos de produtos acabados e grandes quantidades de trabalho em processo são desperdícios (Lean Production, 2022b).

Importa salientar que a existência de *stocks*, apesar de constituírem um desperdício, podem ser necessários para proteger o processo de fabricação de dificuldades de fornecimento externo. Por outro lado, existem *stocks* que são criados internamente e que não são necessários para proteger a continuidade do processo (Lean Production, 2022b).

⁵ Um gargalo de produção é uma parte do processo de fabricação que limita o desempenho, ou o rendimento geral de um sistema produtivo (Lean Production, 2022a).

Perfeição

Apesar de se aplicarem os princípios anteriores, a redução de esforço, tempo, espaço, custo e erros ao oferecer um produto cada vez mais próximo do que o cliente realmente deseja é um processo interminável, existindo sempre espaço para melhoria (Womack and Jones, 2003).

Assim sendo, após se cumprirem as ações que correspondem aos princípios anteriores, o processo recomeça e continua até se atingir um estado de perfeição (Isack *et al.*, 2018).

A perfeição pode ser alcançada através de uma melhoria contínua na eliminação de todas as formas de obstáculos e tarefas que não agregam valor ao longo do processo de fluxo. A procura pela perfeição implica considerar constantemente o que está a ser feito, como está a ser feito e aproveitar a experiência e conhecimento de todos os envolvidos para melhorar os procedimentos (Akanbi, Oyedolapo and Steven, 2019).

2.4. Desperdícios

A identificação e eliminação de desperdício é um aspeto central da filosofia *Lean* (Alefari, Salonitis and Xu, 2017).

Muda é a palavra japonesa para desperdício, que se refere especificamente a qualquer atividade humana que absorve recursos, mas que não cria valor, nomeadamente os erros que exigem retificação, a produção de itens que não são escoados e se acumulam como *stocks*, a deslocação de trabalhadores, o transporte de bens desnecessários e bens ou serviços que não atendem às necessidades dos clientes (Womack and Jones, 2003).

Inicialmente, os desperdícios foram agrupados por Ohno (1988) em sete tipos: Excesso de Produção, Esperas, Transportes, Excesso de processamento, *Stocks*, Movimentações e Defeitos. Cada um dos sete desperdícios clássicos representam sintomas de ineficiência em alguma parte de um sistema, seja ele de produção ou de serviços (Shingo, 1989). Mais tarde, Womack and Jones (2003), referiram o processo de fabricação de bens ou serviços que não atende aos requisitos dos clientes como sendo um desperdício adicional. Outros autores nomearam o talento ou criatividade humana não utilizada como um desperdício relevante (Dilanthi, 2015; Protzman, Mayzell, and Kerpchar 2010).

Para além dos desperdícios (*Muda*) supramencionados, na filosofia *Lean*, o *Muri* e o *Mura* são conceitos notórios e representativos de desperdícios.

Muri significa sobrecarga ou excesso e pode corresponder, por exemplo, a todo o trabalho irracional feito por trabalhadores e máquinas devido à precariedade da organização. Por seu lado, *Mura* pode significar inconstância, ou variabilidade, isto é, pode referir-se a uma desigualdade do trabalho, ou processo (Dilanthi, 2015; Katayama, 2017; (Thürer, Tomašević and Stevenson, 2017).

Seguidamente, caracterizam-se os sete desperdícios (*Muda*) identificados originalmente por Ohno (1988) e o oitavo desperdício adicionado posteriormente (Liker, 2004). Para cada desperdício, mencionam-se métodos que contribuem para a sua eliminação ou minimização.

Excesso de Produção

O excesso de produção diz respeito à produção de itens para os quais não há procura (Dilanthi, 2015). Podem apontar-se como exemplos deste tipo de desperdício a produção de produtos, informações ou serviços além do solicitado pelo cliente e o lançamento antecipado de documentos antes da data prevista. Este desperdício pode gerar todos os outros (Comunidade Lean Thinking, 2018). No entanto, os desperdícios geralmente associados ao excesso de produção são o excesso de pessoal e custos de armazenamento e transporte, devido ao excesso de *stock* (Liker, 2004).

Para evitar este tipo de desperdício, deve seguir-se o sistema *pull*, por produzir apenas o que o processo seguinte, ou o cliente final pede e por produzir de acordo com o *Takt Time*⁶ (Comunidade Lean Thinking, 2018). É também recomendável que análises de valor sejam realizadas antecipadamente para esclarecer, porque é que se produz um dado produto e se utiliza um determinado método. Deste modo, qualquer tipo de produção que não seja valorizada pelo cliente é evitada (Thürer, Tomašević and Stevenson, 2017).

Esperas

Este desperdício diz respeito a qualquer atraso em ações envolvidas no processo de transformação (Thürer, Tomašević and Stevenson, 2017).

As perdas de tempo ocorrem quando, por exemplo, trabalhadores estão apenas a vigiar uma máquina automática a executar o seu ciclo, quando têm de esperar pela próxima etapa de processamento, ferramenta, ou simplesmente quando não têm trabalho, devido a

⁶ Este conceito é abordado no subcapítulo 2.5.12.

ruturas de *stock*, atrasos no processamento de lotes, tempo de inatividade de equipamentos e gargalos de capacidade (Liker, 2004).

As esperas podem também ser originadas por avarias, erros ou atrasos e podem inclusivamente estar associadas ao tempo que decorre até obter dados ou informações essenciais ao trabalho, ou à demora na aprovação de um documento (Comunidade Lean Thinking, 2018).

As esperas podem ser minimizadas através da criação de um fluxo contínuo, balanceamento das operações de forma a evitar espera entre processos, ajuste da produção e das operações envolvidas à procura do mercado e criação de sistemas com identificação visual que, ao sinalizarem problemas como a falta de material, evitem paragens (Comunidade Lean Thinking, 2018).

Transportes

A movimentação de produtos que não são realmente necessários para realizar o processamento é considerada uma forma de desperdício (Dilanthi, 2015). Este tipo de movimentações pode estar associado a distâncias longas para transportar matérias, ou produtos acabados num processo, devido a *layouts* mal planeados. Pode ser também necessário o transporte físico de documentos e deslocações para serem aprovados.

Nenhum cliente paga diretamente pela movimentação de produtos num processo produtivo. Logo, estas movimentações, que não são valorizadas pelo cliente, devem ser restringidas ao indispensável. Atenuar este desperdício pode passar por aproximar os processos para criar um fluxo contínuo e melhorar o *layout* (Comunidade Lean Thinking, 2018).

Excesso de Processamento

O excesso de processamento envolve realizar atividades que não acrescentam valor para o cliente (Douglas, Antony and Douglas, 2015). Quer o processamento excessivo, quer o processamento incorreto representam desperdícios. Um processamento incorreto e ineficiente pode dever-se à conceção de um produto não conforme, causando movimento desnecessário e produzindo defeitos. O fornecimento de produtos de qualidade superior à necessária é uma forma de excesso de processamento (Liker, 2004). Além disso, a existência excessiva de documentos, relatórios, e até mesmo a existência de processos manuais que poderiam ser realizados de forma eletrónica, são atividades englobadas no excesso de processamento (Comunidade Lean Thinking, 2018).

As soluções para a eliminação deste desperdício podem ser a aplicação do primeiro princípio da filosofia *Lean*, isto é, identificar o que o cliente (externo ou interno) considera ser de valor e evitar etapas e atividades que não agregam valor. Outra solução possível é a informatização ou automatização que contribua para a desmaterialização dos processos. (Comunidade Lean Thinking, 2018).

Excesso de *Stocks*

O *stock*, ou inventário, abrange todas as peças, trabalho em processo e produtos acabados que não estão a ser processados (Douglas, Antony and Douglas, 2015). O excesso de *stock* gera prazos de entrega mais longos, obsolescência, mercadorias danificadas, custos de transporte e armazenamento e atrasos. Além disso, o *stock* em excesso é revelador de problemas como desequilíbrios de produção, entregas atrasadas de fornecedores, defeitos, tempo de inatividade de equipamentos e longos tempos de preparação (Liker, 2004).

As soluções para a eliminação deste desperdício podem requerer questionar os tradicionais modelos de montagem e nivelar a produção de acordo com a procura. A criação de um fluxo contínuo, produzindo em pequenos lotes, e a redução de tempo de preparação, para eliminar *stocks* de segurança entre processos podem também constituir mecanismos para a eliminação do excesso de *stocks* (Comunidade Lean Thinking, 2018).

Movimentações

Este desperdício diz respeito ao movimento de pessoas ou equipamentos mais do que o necessário para realizar o processamento (Dilanthi, 2015), nomeadamente, movimentos envolvidos na procura de ferramentas ou dispositivos e movimento de componentes entre etapas do processo. Os materiais mal-organizados, a falta de um método sistemático na movimentação e os equipamentos inadequados geram movimentos desnecessários e, conseqüentemente, desperdícios (Comunidade Lean Thinking, 2018). Outro exemplo de movimento desnecessário é retirar um produto para a área de inspeção e devolvê-lo à posição original (Purushothaman, Seadon and Moore, 2021).

Este desperdício pode ser combatido garantindo que as áreas de trabalho estão organizadas logicamente, o que pode ser alcançado através da aplicação da ferramenta 5S. Outra forma, pode ser criar combinações alternativas de equipamentos, que reduzam o movimento, o que pode ser facilitado pela aplicação de *Value Stream Mapping* (VSM) (Lean Production, 2022b).

Adicionalmente, a Comunidade Lean Thinking (2018) propõe como solução possível a disponibilização de materiais na quantidade e momento certos.

Defeitos

Um defeito é um bem produzido que, devido a erros, enganos ou hesitações, é descartado ou requer retrabalho (Lean Production, 2022b; Comunidade Lean Thinking, 2018). O esforço envolvido na inspeção e correção de defeitos constitui um desperdício (Douglas, Antony and Douglas, 2015).

Processos produtivos inadequados, produtos danificados durante o transporte ou devido a manuseamento inadequado, ausência de padronização do trabalho, falta de equipamentos apropriados e falta de formação são algumas das principais causas da má qualidade de produtos, que podem exigir retrabalho (Comunidade Lean Thinking, 2018).

A eliminação desta forma de desperdício pode ser promovida pela conceção de processos que sejam menos propensos a produzir defeitos e utilizar mecanismos *Poka-Yoke*. Além disso, os processos devem ser projetados de modo a ser possível detetar anomalias, para que possam ser corrigidas imediatamente. Este objetivo é alcançado com a aplicação de *Jidoka* (Lean Production, 2022b).

Outras possíveis soluções consistem na procura do defeito mais frequente e apuramento das causas da sua ocorrência. O trabalho padronizado, isto é, a criação de instruções de trabalho que forneçam um método consistente de fabrico, pode também minimizar o número de unidades defeituosas (Lean Production, 2022b; Comunidade Lean Thinking, 2018).

Desperdício do Talento Humano

Quando não se utilizam plenamente as habilidades das pessoas e trabalhadores, nomeadamente quando se perde o seu tempo, ideias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem (Liker, 2004), as organizações estão a gerar desperdícios.

Para contrapor este desperdício, as organizações devem respeitar as pessoas, envolvê-las na perspetiva de melhoria contínua, fazer visitas ao chão de fábrica (*Gemba*), com o objetivo de promover a aproximação e envolvimento dos trabalhadores e investir na sua formação e desenvolvimento (Comunidade Lean Thinking, 2018).

2.5. Ferramentas *Lean*

As ferramentas *Lean* têm por objetivo incrementar valor para o cliente e reduzir o desperdício (Hallam and Contreras, 2018). Pinto (2014) associa aos 5 princípios *Lean* um conjunto das ferramentas mais apropriadas, conforme se ilustra na Figura 5.

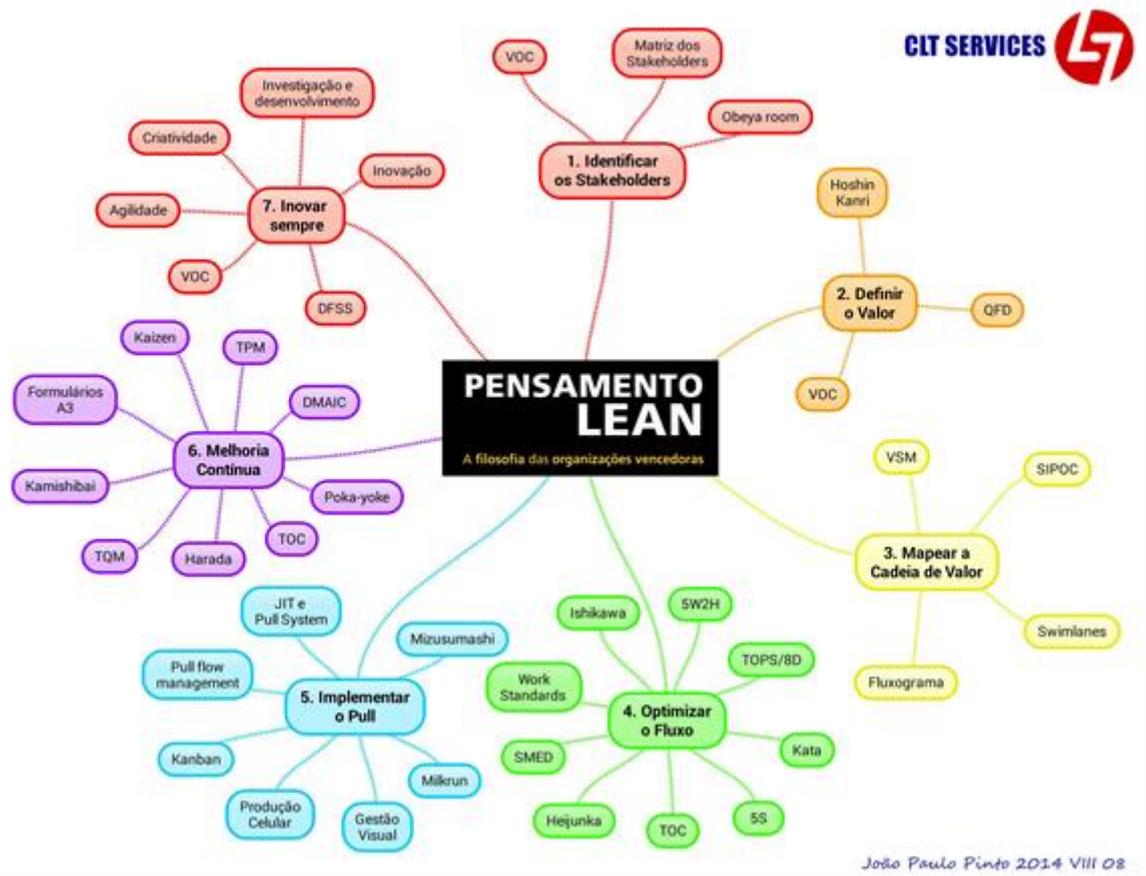


Figura 5. Relação entre os princípios e ferramentas *Lean* (Fonte: Pinto, 2014)

De acordo com Isack *et al.* (2018), é comum a utilização das ferramentas 5S, Gestão Visual e *Kanban* em laboratórios (médicos). Em particular, em conformidade com Chibaira (2015), a ferramenta 5S pode ser aplicada de forma bem-sucedida em processos de ensino. No estudo de Hachmoud, Meddaoui and Allali (2017), conduzido num laboratório de simulação de ambiente industrial utilizando ferramentas *Lean*, propõe-se, como investigação futura, a utilização da ferramenta *Single Minute Exchange of Die* (SMED) em simulações em laboratório.

Assim sendo, apesar de neste subcapítulo se apresentarem algumas das inúmeras ferramentas *Lean*, importa salientar que, tendo em consideração os estudos analisados supramencionados, é dada especial ênfase às ferramentas 5S, SMED, *Kanban* e Gestão Visual.

2.5.1. 5S

O 5S é uma técnica, oriunda do Japão, utilizada para estabelecer e manter um ambiente de qualidade numa organização. Este método de gestão do espaço de trabalho surgiu como consequência da aplicação da cultura *Kaizen* (melhoria contínua na vida pessoal, familiar, social e profissional) (Jiménez *et al.*, 2015).

Segundo esta técnica, existe um lugar para tudo e tudo tem de estar no seu lugar, tem de ser mantido no lugar certo, em boas condições e deve estar disponível sempre que necessário (Palange and Dhattrak, 2021). O 5S corresponde a um conjunto de práticas de baixo custo e tecnologicamente pouco exigentes que têm o objetivo de melhorar a produtividade, criar e manter locais de trabalho limpos e bem organizados (Gutierrez *et al.*, 2020).

Como o nome desta ferramenta sugere, existem cinco fases envolvidas na sua implementação, as quais são representadas por cinco palavras japonesas: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke* (Gutierrez *et al.*, 2020). As cinco etapas sequenciadas são representadas na Figura 6 e caracterizadas a seguir.



Figura 6. Etapas da ferramenta 5S (Elaboração Própria)

- **Seiri (Organização):** todas as ferramentas, peças e/ou materiais devem ser examinados e apenas os itens essenciais devem ser guardados (Jiménez *et al.*, 2015). Deve ser eliminado tudo o que não é necessário, isto é, todos os itens que não se pretende que sejam usados no futuro ou num período específico (Gutierrez *et al.*, 2020).

- **Seiton (Arrumação):** os itens necessários devem ser mantidos em lugares designados para serem repostos de forma fácil e oportuna. Para isso, é necessário estabelecer critérios adequados para a organização com base na frequência de utilização, colocando ao alcance da mão os compostos mais procurados e os menos solicitados em armários ou locais mais distantes (Gutierrez *et al.*, 2020).
- **Seiso (Limpeza):** a área de trabalho deve ser mantida limpa e todos os equipamentos devem ser mantidos limpos e arrumados, prontos para a próxima utilização (Jiménez *et al.*, 2015).
- **Seiketsu (Padronização):** devem ser estabelecidas regras visíveis e simples que permitam a distinção das situações normais e anormais (Jiménez *et al.*, 2015). Esta etapa possibilita e garante o cumprimento de padrões estabelecidos nas etapas anteriores para que exista um procedimento de trabalho bem articulado e consistentemente organizado (Gutierrez *et al.*, 2020).
- **Shitsuke (Autodisciplina):** os padrões definidos anteriormente devem ser aplicados regularmente (Palange and Dhattrak, 2021), o que requer compromisso e disciplina, com o objetivo de manter as etapas anteriores e promover o esforço de procurar a melhoria contínua em cada uma delas (Jiménez *et al.*, 2015; Gutierrez *et al.*, 2020).

Resumidamente, as três primeiras fases são operacionais, a quarta mantém o estado alcançado com as fases anteriores e a quinta fase promove a melhoria contínua. Todas as fases descritas são fundamentais e devem ser tratadas separadamente (Jiménez *et al.*, 2015).

2.5.2. Single Minute Exchange of Die

Para a compreensão da ferramenta SMED, importa considerar primeiramente os conceitos de tempo de preparação (*setup*) e de tempo de troca (*changeover*).

Segundo Allahverdi and Soroush (2008), o tempo de *setup* pode ser definido como o tempo necessário para preparar um recurso necessário (por exemplo, máquinas, pessoas) para executar uma tarefa. De acordo com o mesmo autor, atividades de *setup* podem incluir tarefas tais como a obtenção e devolução de ferramentas, limpeza e configuração de acessórios necessários à execução de uma atividade.

O tempo de troca (*changeover time*), por sua vez, relaciona-se com processos em que existem transições, associadas, por exemplo ao fabrico de produtos diferentes, e refere-se à quantidade de tempo gasto entre a última peça válida de um produto até a primeira peça válida do próximo produto. Esta quantidade de tempo é gasta na limpeza e na troca das peças da máquina e na configuração do próximo produto (Karam *et al.*, 2018). Estas atividades acarretam interrupções dispendiosas nos processos de produção e/ou de serviços (Allahverdi and Soroush, 2008).

Assim, num processo produtivo ou ao oferecer um serviço, é desejável que quer o tempo de preparação, quer o tempo de troca sejam reduzidos.

A ferramenta *Single Minute Exchange of Die* (SMED) consiste num sistema para redução de tempo de *setup* (Sugai, McIntosh and Novaski, 2007) e dos tempos de troca através da simplificação de processos, eliminação de procedimentos desnecessários e padronização do trabalho (Tasdemir and Gazo, 2018).

A metodologia SMED visa reduzir o desperdício no sistema de produção através da preparação de equipamentos e/ou tarefas e execução de trocas rápidas, isto é, com uma duração de 9 minutos ou menos (o correspondente a um número de minutos de apenas um dígito) (Junior *et al.*, 2022).

Entre os benefícios proporcionados pela redução do tempo de *setup*, destacam-se a maior produtividade, menos desperdício e retrabalho, redução de *stocks* e de *lead time*⁷ e maior flexibilidade do sistema. Além disso, os programas de troca rápida proporcionados pela aplicação de SMED podem aumentar a produtividade até 70% (Junior *et al.*, 2022).

As atividades de *setup* podem ser divididas em externas e internas. As atividades externas são aquelas que podem ser executadas enquanto a máquina, ou sistema, está em funcionamento, como, por exemplo, o transporte de ferramentas. As atividades internas são aquelas que só podem ser executadas quando a máquina ou sistema não está em funcionamento, como, por exemplo, a troca de ferramentas (Junior *et al.*, 2022).

A metodologia de Shingo é atribuída à consolidação da técnica SMED, propondo três etapas (Shingo, 1985):

- Separar atividades internas e externas;

⁷ *Lead time* refere-se ao tempo necessário para reabastecer um item uma vez feito o pedido de reabastecimento (Labuhn *et al.*, 2017).

- Converter atividades internas em externas (executadas enquanto o processo está em execução);
- Melhorar continuamente as atividades.

A metodologia de Shingo (1985) tornou-se a principal referência quando se trata de redução do tempo de *setup* de máquinas.

De acordo com a Lean Production (2022a), as técnicas SMED incluem:

- Converter as etapas de *setup* para externas (executadas enquanto o processo está em execução);
- Simplificar as atividades de *setup* internas (por exemplo, substituir parafusos por botões e alavancas);
- Eliminar operações não essenciais;
- Criar instruções de trabalho padronizadas.

O estudo de McIntosh *et al.* (2007) propôs que a reinterpretação do trabalho de Shingo pode permitir obter maior clareza de possíveis opções de melhoria. O estudo avalia um mecanismo através do qual as melhores trocas e preparações num processo podem ser alcançadas. A melhoria pode ocorrer simplesmente por alterar o momento em que as tarefas são realizadas, através de uma melhor alocação de tarefas aos recursos necessários, permanecendo as próprias tarefas essencialmente inalteradas.

Apesar da ferramenta SMED ser proveniente de um ambiente manufatureiro, já foram reportadas aplicações em serviços. Por exemplo, Silva and Filho (2019) referem a aplicação desta ferramenta no processo de preparação de uma cirurgia.

A revisão sistemática da literatura elaborada por Silva and Filho (2019) permitiu concluir que a técnica SMED deve ser combinada com a aplicação de outras ferramentas *Lean*, nomeadamente 5S, Padronização do Trabalho, *Kaizen*, *Total Productive Maintenance*, *Poka-Yoke*, *VSM*, Gestão Visual, entre outras.

2.5.3. Kanban e e-Kanban

Em japonês, a palavra “*Kanban*” significa um quadro visual ou apresentação visual. O conceito original de *Kanban* caracteriza-se pela utilização de cartões que são sinais de comunicação. Os cartões *Kanban* têm a função de indicar quando mais mercadorias ou itens são necessários (Lean Production, 2022a; Krishnaiyer, Chen and Bouzary, 2018). Por

outras palavras, de acordo com este sistema, o consumo de um artigo gera um pedido de reposição, o qual é sinalizado pelos cartões *Kanban* (Agostinho *et al.*, 2021).

Adicionalmente, o sistema *Kanban* baseia-se originalmente no sistema de produção puxada (*pull system*), o que significa que é o cliente/utilizador de um item que “puxa”, ou extrai, a peça do fornecedor. Os clientes de um item podem ser consumidores reais de um produto acabado (externo), ou podem ser trabalhadores de produção que operam na secção subsequente de um processo de fabrico (interno). Deste modo, os bens são fornecidos apenas quando são necessários (Krishnaiyer, Chen and Bouzary, 2018; Palange and Dhattrak, 2021).

O sistema *Kanban* já foi descrito como um sistema de controlo de produção que foi desenvolvido para materializar a produção JIT (Powell, 2018).

Assim, o sistema *Kanban* pode ser definido como uma ferramenta visual para monitorizar e controlar o consumo de recursos (Krishnaiyer, Chen and Bouzary, 2018). Além disso, esta ferramenta providencia uma forma efetiva de gestão visual para o controlo de produção em qualquer ambiente (Powell, 2018).

A utilização da ferramenta *Kanban* evita níveis excessivos de *stock*, que foi relatado como a forma mais prejudicial de desperdício, e contribui para a redução de custos indiretos (Tasdemir and Gazo, 2018; Palange and Dhattrak, 2021).

Os sistemas *e-Kanban* substituem, essencialmente, o cartão ou recipiente físico por uma notificação eletrónica (Sly, 2018). O *e-Kanban* resulta da combinação da ferramenta *Kanban* com ferramentas digitais e de *software*, com um potencial de aplicação mais eficiente e rápido (Pekarcikova *et al.*, 2021).

Uma abordagem manual desta metodologia pode apresentar problemas como a perda, atraso, troca e uso indevido (por exemplo, o cartão não ser retirado depois do reabastecimento) de cartões *Kanban* (Sly, 2018; Castro *et al.*, 2020). Os sistemas *e-Kanban* podem mitigar estes problemas e proporcionar solicitações instantâneas de itens quando necessário, o que implica tempos de reabastecimento mais curtos, que se traduzem em menos *stocks*. Além disso, podem também reduzir a escassez de itens e consequentes interrupções no trabalho, já que os avisos da falta de materiais se tornam mais rápidos (Sly, 2018).

2.5.4. Gestão Visual

A Gestão Visual corresponde a um conjunto de técnicas para criar comunicação, controle e, por fim, um local de trabalho visual (Yik and Chin, 2019). Por outras palavras, a Gestão Visual é uma ferramenta *Lean* que visa fornecer informações visuais ou exibir requisitos para definir instruções (Cruz-Machado and Simas, 2018). Esta ferramenta pode incluir a utilização de sinais de aviso, sinais de regulamentação, sinais de orientação (Isack *et al.*, 2018), placas, etiquetas ou código de cores (Cruz-Machado and Simas, 2018). As organizações *Lean* dependem muito da Gestão Visual, já que a implementação de redes de comunicação simples e visuais permitem a disponibilização de informação que elimina estruturas e relatórios de gestão desnecessários (Sgroi, 2014).

Adicionalmente, a Gestão Visual facilita a autonomia dos funcionários, permite a eliminação de desperdícios, promove a melhoria contínua, permite uma resposta e recuperação rápidas, promove a partilha de informações, expõe anormalidades e mantém ganhos (Yik and Chin, 2019).

A Gestão Visual proporciona também reduções do tempo despendido na compreensão das informações, como por exemplo, na procura de ferramentas, maior eficiência dos trabalhadores, mais rapidez na deteção de problemas, padronização de procedimentos e simplificação do ambiente de trabalho (Cruz-Machado and Simas, 2018).

Para que os benefícios mencionados se verifiquem, na implementação da Gestão Visual devem sempre prevalecer a simplicidade, transparência e clareza (Cruz-Machado and Simas, 2018).

2.5.5. Andon

O *Andon* corresponde a um sistema de *feedback* visual para o chão de fábrica que indica o estado da produção, alerta quando a assistência é necessária e capacita os operadores a interromper o processo de produção. Além disso, esta técnica atua como uma ferramenta de comunicação em tempo real para o chão de fábrica, que chama a atenção imediata para os problemas à medida que eles ocorrem para que possam ser resolvidos instantaneamente (Lean Production, 2022a).

O sistema *Andon* providencia alertas quando ocorrem situações inesperadas ou indesejadas em tempo real, o que permite que os problemas possam ser resolvidos rapidamente e que não sejam transferidos para outros processos (Lean Production, 2022a; Tasdemir and Gazo, 2018).

2.5.6. Gemba

Gemba é um termo japonês que significa “lugar real” (Lean Enterprise, 2022b) e refere-se ao ato físico de caminhar pelo chão de fábrica com a finalidade de investigar e observar as atividades, tarefas e fluxos de trabalho de um processo específico (Gupta, Kapil and Sharma, 2018).

Esta ferramenta incentiva a observação em primeira mão do processo fabril e o diálogo com os funcionários do chão de fábrica, de forma a atingir uma compreensão profunda e completa dos problemas de fabricação do mundo real (Lean Production, 2022a), o que fornece informação sobre as possibilidades de melhoria e sobre a capacidade do sistema de gestão de manter a estabilidade (Lean Enterprise, 2022b).

Além disso, a presença física no local de trabalho pode contribuir para a identificação de oportunidades para eliminar etapas num processo de produção ou serviço. A consequente simplificação de operações pode resultar num incremento da qualidade e menor custo (Lean Enterprise, 2022b).

2.5.7. Heijunka

Em japonês, a palavra *Heijunka* significa, de forma literal, “nivelamento”. Esta técnica consiste em nivelar o tipo e a quantidade de produção, de forma a permitir que a produção atenda com eficiência à procura dos clientes (Lean Enterprise, 2022c). O *Heijunka* é uma forma de programação da produção que fabrica propositadamente em lotes muito menores, sequenciando variantes de produtos dentro do mesmo processo (Lean Production, 2022a). Esta ferramenta gera estabilidade na produção, apesar da potencial imprevisibilidade da procura dos clientes.

Para uma melhor compreensão desta ferramenta apresenta-se seguidamente um exemplo prático da programação da produção por quantidade de itens. Admita-se que um produtor recebe rotineiramente pedidos de 500 itens por semana, mas com variação significativa por dia, como ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2. Exemplo de programação da produção por quantidade de itens (Elaboração própria a partir de Lean Enterprise, 2022c)

Programação da Produção por Quantidade de Itens		
Dia da Semana	Procura	Programação da Produção
Segunda-feira	200	100
Terça-feira	100	100
Quarta-feira	50	100
Quinta-feira	100	100
Sexta-feira	50	100
Total	500	500

Para nivelar a produção, o produtor pode garantir uma pequena reserva de produtos acabados, para responder ao alto nível de procura de segunda-feira, e nivelar a produção em 100 unidades por dia durante a semana. Por manter um *stock* reduzido de produtos acabados no final do fluxo de valor, contribui para uma utilização mais eficiente dos ativos e para atender aos requisitos do cliente (Lean Enterprise, 2022c).

Considere-se um segundo exemplo da aplicação do sistema *Heijunka* acerca da programação da produção por tipo de item de uma empresa de vestuários, ilustrado na Figura 7.



Figura 7. Exemplo de programação da produção por tipo de itens (Adaptado de Lean Enterprise, 2022c)

Sendo oferecidas quatro peças diferentes com os valores de procura semanal representados, a empresa, provavelmente, produziria as peças com a sequência semanal representada na Figura, de forma a obter economias de escala e minimizar as trocas entre produtos.

Assim, a aplicação da ferramenta *Heijunka* reduz o *lead time*, uma vez que cada produto ou variante é fabricado com mais frequência (Lean Production, 2022a).

2.5.8. Jidoka

Conforme mencionado no subcapítulo 2.3., o *Jidoka* é um dos pilares do TPS. Segundo este sistema, um determinado nível de automação agregada às competências dos trabalhadores melhora a qualidade dos processos e produtos (Tasdemir and Gazo, 2018).

O *Jidoka* propõe a utilização de equipamentos, para automatizar parcialmente o processo de fabricação, que parem automaticamente quando são detetados defeitos. Com a sua aplicação, os trabalhadores podem monitorizar frequentemente várias estações de trabalho, o que reduz custos, e possibilita a melhoria da qualidade através da deteção imediata de defeitos (Lean Production, 2022a).

2.5.9. Just-in-Time

A abordagem JIT, correspondente a um dos pilares do TPS, defende que os bens devem estar disponíveis em função da procura do cliente e na quantidade necessária (Mazzocato *et al.*, 2010), isto é, um sistema de produção deve produzir e entregar exatamente o que é necessário, quando é necessário e na quantidade necessária (Lean Enterprise, 2022d).

O JIT tem o *Heijunka* como base e é composto por três elementos operacionais: o sistema *pull*, o *takt time* e o fluxo contínuo.

Este sistema tem por alvo conjugar a eliminação total de todos os desperdícios para alcançar a melhor qualidade possível com o menor custo, menor uso de recursos e menores prazos de produção e entrega possíveis. Embora seja uma abordagem simples, o JIT exige disciplina para uma implementação eficaz (Lean Enterprise, 2022d).

2.5.10. Kaizen

A palavra “*Kaizen*” corresponde à junção de duas palavras japonesas: “*Kai*”, que significa mudança e “*Zen*”, que significa melhor. Esta filosofia japonesa visa alcançar melhorias por meio de pequenos passos, ao invés de revoluções dramáticas, e inclui a definição e melhoria contínua de padrões sem grandes investimentos (Ramezani and Razmeh, 2014). Esta filosofia valoriza até mesmo uma pequena melhoria no sistema atual e incentiva a continuação de melhorias no futuro (Palange and Dhattrak, 2021).

O *Kaizen* assenta em três pilares: a melhoria da qualidade dos produtos e serviços, o desperdício zero e a satisfação do cliente (Ramezani and Razmeh, 2014). Esta ferramenta promove a melhoria contínua como resultado do esforço contínuo e envolvimento de toda a organização (Palange and Dhattrak, 2021). A combinação dos talentos coletivos de uma

empresa ou organização cria um mecanismo para eliminar continuamente o desperdício dos processos de fabricação (Lean Production, 2022a). O *Kaizen* é uma forma de pensamento e filosofia que pode ser aplicada em todas as instituições e nele reside o segredo para o sucesso das empresas japonesas (Ramezani and Razmeh, 2014).

2.5.11. Poka-Yoke

O termo japonês “*Poka-yoke*” significa “sistema à prova de erro” (Pinto, 2014). Este tipo de sistema pode incluir a verificação sucessiva, dispositivos que contatem, ou não, com um produto para verificar a ausência de peças, ou um *design* inteligente que aceita a peça de apenas uma maneira. Resumidamente, *Poka-Yoke* é qualquer ideia, dispositivo, mecanismo ou solução na detecção prévia de erros, para alcançar o objetivo de ter zero defeitos (Lean Production, 2022a; Palange and Dhattrak, 2021).

Os seres humanos são propensos a cometer erros e a propagação de um erro num ciclo de fabricação pode originar, posteriormente, um defeito. Por esse motivo, os sistemas *Poka-Yoke*, através da utilização de mecanismos em estágios críticos, são úteis para a identificação antecipada desses erros (Palange and Dhattrak, 2021) e, conseqüentemente, para a redução de desperdícios de tempo e dinheiro envolvidos na correção de defeitos. Além disso, evitam também os custos associados à identificação de todos os defeitos por meio de inspeção (Lean Production, 2022a).

2.5.12. Takt Time

Em termos simples, o *Takt Time* pode ser definido como a taxa à qual um cliente está a solicitar uma unidade ou serviço concluído do processo (Yerian *et al.*, 2012). Assim, o *Takt Time* corresponde ao ritmo de produção que alinha a produção com a procura do cliente e é calculado de acordo com a Equação 1 (Lean Production, 2022a):

$$Takt\ Time = \frac{\text{Tempo de Produção Planeado}}{\text{Procura do Cliente}} \quad (1)$$

Saber que, por exemplo, para atender à procura é necessário produzir uma unidade de um produto a cada 34 segundos, é um meio simples de fornecer uma meta de eficiência para o chão de fábrica (Lean Production, 2022a).

2.5.13. Total Productive Maintenance

O *Total Productive Maintenance* (TPM) designa um conjunto de técnicas com o intuito de garantir que cada máquina num processo produtivo esteja sempre em condições de

realizar as suas tarefas necessárias. A abordagem é denominada “total” por três motivos (Lean Enterprise, 2022e).

Primeiro, exige a participação total de todos os funcionários, não apenas do pessoal de manutenção, mas também dos gestores de produção, engenheiros de fabricação, técnicos de qualidade e operários. O TPM promove a capacitação dos operários para realizar manutenção de rotina, projetos de melhoria e reparações simples, o que se pode traduzir em atividades diárias como lubrificação, limpeza, aperto e inspeção de equipamentos (Lean Enterprise, 2022e).

Em segundo lugar, este conjunto de técnicas procura a produtividade total do equipamento, tendo em linha de conta todas as principais perdas que afetam o equipamento: tempo de inatividade, tempo de troca, pequenas interrupções, perdas de velocidade, desperdício e retrabalho.

Em terceiro lugar, aborda o ciclo de vida total do equipamento para rever as práticas de manutenção, atividades e melhorias em relação à situação do seguimento em termos do seu ciclo de vida (Lean Enterprise, 2022e).

Deste modo, o TPM corresponde a uma abordagem holística que, através de uma manutenção proativa e preventiva, procura maximizar o tempo operacional do equipamento (Lean Production, 2022a).

O facto do TPM criar uma responsabilidade partilhada pelo equipamento, incentiva a um maior envolvimento dos operários na manutenção, o que pode contribuir para melhorar a produtividade (Lean Production, 2022a).

2.5.14. Value Stream Mapping

O VSM é uma ferramenta que auxilia a visualização do fluxo do processo em qualquer estágio e que é aplicável a qualquer grupo de produtos.

O VSM apresenta a vantagem de permitir que os profissionais localizem atividades de valor agregado e sem valor agregado ao longo da cadeia de abastecimento, de uma forma que destaca oportunidades de melhoria, uma vez que caracteriza de forma visual o fluxo de produção e comunica o estado atual e futuro dos processos. O VSM expõe o desperdício nos processos atuais, facilitando a identificação de oportunidades de melhoria no que diz

respeito, por exemplo, à eliminação de resíduos, à utilização excessiva e desnecessária de recursos (Lean Production, 2022a; Tasdemir and Gazo, 2018).

A aplicação do VSM inicia-se com o mapeamento do estado atual que descreve o fluxo de materiais, atividades realizadas durante a fabricação e, se necessário, entre fabricantes, fornecedores e distribuidores para entregar produtos aos clientes, seguindo-se a elaboração do mapeamento do estado futuro proposto, após serem identificadas propostas de melhoria (Palange and Dhattrak, 2021).

Capítulo 3

Lean Laboratory

Este capítulo inicia-se com a caracterização do conceito *Lean Laboratory* (LL), apresentando-se, de seguida, estudos sobre a aplicação de ferramentas *Lean* em laboratórios, salientando-se as ferramentas *Lean* aplicadas e benefícios decorrentes da sua implementação.

3.1. Conceitos Fundamentais

O termo LL foi utilizado pela primeira vez por Herasuta (2007), referindo-se à aplicação do LT num laboratório voltado para a prestação de cuidados de saúde. Desde então, a utilização do termo LL prosseguiu fundamentalmente na área da saúde (Grabán and Padgett, 2008; Halwachs-Baumann, 2010; Dundas *et al.*, 2011; Yerian *et al.*, 2012; Knowles and Barnes, 2013; Coskun *et al.*, 2017; Cherqaoui, Elhaq and Lri, 2018; Lokesh, Samanta and Varaprasad, 2020), tendo sido identificada, porém, a utilização do mesmo conceito num artigo sobre um laboratório de química analítica (Fichou and Morlock, 2018), e também no contexto educacional, para se referir a um exercício que consistia na simulação de montagem de peças físicas feitas em laboratório, utilizando ferramentas *Lean*, com foco na eficiência da formação (Hachmoud, Meddaoui and Allali, 2017). Assim sendo, é pertinente empregar o conceito LL a aplicações de ferramentas *Lean* em laboratórios universitários, com o objetivo de melhorar a eficiência no ensino e investigação.

Para uma melhor perceção sobre o conceito LL, são abordados os princípios e desperdícios da filosofia *Lean* sob a perspectiva de um contexto laboratorial.

Herasuta (2007) aplicou os princípios da filosofia *Lean* a um laboratório da área da saúde. Com base na sua abordagem aos princípios da filosofia *Lean*, e tendo em consideração as necessidades existentes num laboratório de ensino e investigação, elaborou-se a Tabela 3, que visa proporcionar uma melhor perceção sobre o significado prático dos referidos princípios num laboratório.

Tabela 3. Princípios *Lean* num contexto laboratorial de ensino e investigação (Fonte: Adaptado de Herasuta, 2007)

1. Definir Valor
Identificar aspetos do ambiente de trabalho que são muito importantes e que vão ao encontro das necessidades dos utilizadores (alunos e professores). Num laboratório, o valor pode referir-se fundamentalmente ao tempo (por exemplo, tempo para preparar uma atividade laboratorial).
2. Identificar a Cadeia de Valor
Identificar todas as atividades que acrescentam valor e a respetiva sequência e minimizar as atividades que não acrescentam valor (por exemplo, procura de materiais necessários à atividade laboratorial).
3. Fluxo
Contribuir para o movimento interrupto de um serviço ao longo do sistema até ao utilizador, através, por exemplo, da iniciação de testes ou atividades o mais cedo possível, o que reduz o tempo despendido numa atividade e permite ganhar tempo para a execução de outra atividade educativa.
4. Sistema Pull
Providenciar produtos ou serviços quando o utilizador precisa (por exemplo, ajustar a aquisição de itens de acordo com a previsão do seu consumo).
5. Perfeição
Repetir os processos anteriores tantas vezes quanto possível para melhorar constantemente as condições de trabalho.

Após a consideração da aplicação dos princípios *Lean* num contexto laboratorial, salientam-se os desperdícios identificados no mesmo contexto.

Muitos investigadores que tentaram identificar diferentes tipos de desperdícios no setor do ensino superior, argumentaram que os principais tipos de desperdício na educação são tempos de espera e *stocks* (Douglas, Antony and Douglas, 2015). Os tempos de espera no setor educativo podem ser a espera pelo início de um exercício, a espera enquanto um professor prepara a aula ou material necessário à leção, ou a espera por equipamentos que precisam de ser movimentados. Os desperdícios na educação relacionados com *stocks* prendem-se com a existência de muitos locais de armazenamento e excesso de material nesses locais (Kang and Manyonge, 2014).

Devido à diversidade das tipologias de laboratórios, uma abordagem de LL não deve ser genérica. Em vez disso, deve ter em consideração as especificidades do contexto de aplicação, nomeadamente do ambiente de trabalho, tipos de equipamento e itens, espaço disponível, entre outros fatores.

3.2. Aplicações Práticas

As ferramentas *Lean* têm um contributo importante para a aplicação dos princípios e eliminação dos desperdícios supramencionados. Neste subcapítulo, é apresentada uma revisão sobre estudos de LL no setor do ensino e os benefícios resultantes da aplicação de ferramentas e práticas *Lean*. Na Tabela 4 resumem-se os casos práticos analisados.

Tabela 4. Casos práticos analisados sobre aplicação de *Lean* em laboratório no setor do ensino (Elaboração própria)

Autores	Contexto de Aplicação	Desperdícios Identificados	Ferramentas ou Práticas <i>Lean</i> Implementadas	Resultados Atingidos
(Ibrahim <i>et al.</i> , 2022)	Laboratório Hospitalar Universitário	<ul style="list-style-type: none"> • Tempos de espera; • Excesso de Produção (carga de trabalho desnecessária do exame microscópico); • Defeitos (mau funcionamento da contagem de células automatizada). 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Six Sigma</i>; • VSM; • Diagrama de Espaguete, • Análise de causas de desperdício; • Distinção das atividades que não acrescentavam valor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria da pontualidade de exames de rotina (hemogramas) de pacientes internados.
(Siegel, Kramer and Deranek, 2019)	Fase pré-clínica da educação odontológica	<ul style="list-style-type: none"> • Excesso de produção (alunos ultrapassavam as necessidades de preparação); • Esperas no acesso ao equipamento durante os processos de digitalização e conceção devido ao número limitado de máquinas; • Movimento/transporte (devido à necessidade de movimentar alunos e/ou materiais dentro da sala de aula). 	<ul style="list-style-type: none"> • VSM; • Identificação e eliminação de desperdícios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de preparação mais rápido sem comprometer a qualidade.
(Viera, Sardoueinassab and Lee, 2019)	Laboratório de Avaliação de Energia Inteligente e Segura da Louisiana (Programa de Auditoria de Energia Baseado na Universidade)	<ul style="list-style-type: none"> • Tempos de espera para realizar o processo de auditoria, incrementados pelos defeitos encontrados em relatórios. 	<ul style="list-style-type: none"> • 5S; • Análise de Pareto; • VSM; • Distinção das atividades que não acrescentavam valor; • Trabalho padronizado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do tempo total de avaliação de energia em cerca de 18%, possibilitando o atendimento de mais indústrias por período.

Tabela 4. Casos práticos analisados sobre aplicação de *Lean* em laboratório no setor do ensino (Elaboração própria)
(Continuação)

Autores	Contexto de Aplicação	Desperdícios Identificados	Ferramentas ou Práticas <i>Lean</i> Implementadas	Resultados Atingidos
(Yuksel, 2018)	Laboratório Hospitalar Universitário	<ul style="list-style-type: none"> • Defeitos (que originavam retrabalho); • Movimento; • Transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Distinção das atividades que não acrescentavam valor; • Identificação da causa dos desperdícios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição dos tempos de fluxo determinando os motivos de espera de amostras de sangue e redução dos tempos de espera dos pacientes; • Aumento da eficiência dos processos; • Aumento da qualidade do serviço.
(Jiménez <i>et al.</i> , 2015)	Laboratórios de Engenharia Universitários	<ul style="list-style-type: none"> • Esperas associadas ao tempo de preparação de atividades práticas; • Movimentos; • Excesso de <i>stocks</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • 5S • <i>Kaizen</i> • TPM 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduções de custo consideráveis envolvidos na aprendizagem, no controlo e na manutenção dos recursos e atividades; • Aumento no espaço disponível para a localização dos recursos; • Melhoria do ambiente de trabalho e no aumento da motivação dos funcionários envolvidos; • Aumento do grau de cumprimento dos programas de atividades práticas estabelecidos; • Diminuição do tempo de preparação das atividades práticas e de identificação de anomalias; • Diminuição do índice de sinistralidade laboral.
(Sremcevic <i>et al.</i> , 2018)	Laboratório de Educação Superior	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de preparação de atividades práticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • 5S 	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorias no espaço de armazenamento, meios de transporte e locais de trabalho; • Aumento do nível de satisfação do aluno, o que beneficia o seu desempenho; • Redução do tempo de ensino em 20%.

Foi possível constatar que as metodologias 5S e VSM estão entre as mais utilizadas em contextos laboratoriais. Verificou-se ainda que da implementação de ferramentas e práticas *Lean* advieram benefícios, sendo a redução de tempos de espera um desperdício eliminado comum a todos os casos práticos.

O estudo de Jiménez *et al.* (2015) dedicou-se à análise da implementação de 5S em laboratórios de ensino de engenharia. Apesar da tipologia de laboratório não ser claramente especificada, o estudo de Sremcev *et al.* (2018) debruça-se também sobre a aplicação da ferramenta 5S num laboratório universitário. Os restantes estudos dizem respeito a laboratórios da área da saúde e da energia.

Foi ainda possível concluir que, apesar de serem escassos os estudos sobre a aplicação de *Lean* em laboratórios do setor educativo, existe potencial para reduzir os desperdícios e melhorar os processos de aprendizagem por intermédio desta filosofia.

Capítulo 4

Gestão de *Stocks*

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento teórico que sustentou o sistema desenvolvido para a gestão de *stocks*. Assim, em primeiro lugar, destacam-se os resultados da pesquisa sobre MADs baseados na filosofia *Lean* e, em segundo lugar, são apresentados os estudos analisados com modelos quantitativos utilizados em gestão de *stocks*.

4.1. Modelo de Apoio à Decisão *Lean*

A análise de decisão é a ciência e a arte de conceber e escolher as melhores alternativas com base nos objetivos e preferências do decisor. O processo de tomada de decisão envolve a escolha entre um conjunto de possíveis alternativas, de modo a escolher a que melhor se adequa aos objetivos e valores do decisor (Zarghami and Szidarovszky, 2011).

Um MAD está associado a sistemas de informação úteis para gestores e que auxiliam os processos cognitivos de decisores individuais. A construção de um MAD parte da pesquisa sobre a decisão, a qual providencia percepções descritivas sobre resolução de problemas de gestão e teorias normativas para definir como melhorar a sua eficácia (Keen, 1980).

Idealmente, um MAD deve ser o mais integrado possível, mantendo, ao mesmo tempo, as suas funções simples (Alamanos, Rolston and Papaioannou, 2021).

Ao pesquisar sobre os MADs, baseados na filosofia *Lean*, com o objetivo de facilitar a gestão de *stocks*, apenas foi identificado o estudo de Agostinho *et al.* (2021). Neste estudo, é proposto um MAD que consiste num *e-Kanban* que sinaliza o momento e a quantidade ótima de encomenda.

Para identificar outros métodos já utilizados, para além do *e-Kanban*, que possam ser incorporados num MAD, procedeu-se à pesquisa de bibliografia acerca da utilização de LT na gestão de *stocks*.

No estudo de Hong (2017) foi utilizada a ferramenta *Lean Six Sigma* para o controlo de *stocks*, como parte da gestão da cadeia de abastecimento, sob a perspetiva de um processo manufatureiro. O investigador recorreu a técnicas tais como o ciclo *Define, Measure, Analyse, Improve, Control* (DMAIC), que corresponde a um ciclo utilizado para melhorar,

otimizar e estabilizar processos, cartas de controlo e controlo estatístico do processo. A implementação do *Lean Six Sigma* permitiu obter uma redução de *stocks* de 25% para 0,4% e, conseqüentemente, uma diminuição dos custos de *stock*.

Por sua vez, o estudo de Marodin *et al.* (2017) teve como objetivo entender a relação entre a implementação das práticas *Lean* de chão de fábrica e a gestão *Lean* da cadeia de abastecimento, bem como o seu efeito na qualidade e na rotatividade de *stocks*, não sendo apresentadas técnicas de otimização de *stocks*.

O estudo de Jurado-Muñoz *et al.* (2021) refere a previsão da procura como um dos aspetos essenciais da gestão de *stocks* e armazéns. Para além da implementação do 5S, Jurado-Muñoz *et al.* (2021) utilizaram o planeamento da requisição de materiais, classificação ABC⁸, quantidade económica de encomenda e padronização, técnicas cuja aplicação foi concebida para pequenas e médias empresas de pastelaria no Perú. Após a implementação dos planos piloto, foi alcançada uma redução de 60% do indicador de produtos defeituosos para sustentar a eficácia do modelo integrado.

De seguida, pesquisou-se, em particular, sobre a aplicação de *Lean* para o controlo de *stocks* em laboratórios do setor de ensino, tendo sido identificados apenas os estudos de Gutierrez *et al.* (2020) e Roberson *et al.* (2013).

Gutierrez *et al.* (2020) dedicaram a sua investigação ao objetivo de melhorar a eficiência e sustentabilidade de laboratórios de ensino da química. Com esta finalidade, todos os produtos químicos no armazém foram inventariados, classificados e reorganizados recorrendo a um sistema informático de armazenamento. Seguidamente, foi implementada a metodologia 5S e, numa fase final, foi desenvolvido um protocolo para uma estratégia de compra conjunta das substâncias utilizadas para fomentar uma aquisição e gestão mais responsável e sustentável. Segundo os autores, a execução do projeto descrito teve um efeito positivo sobre os alunos, uma vez que lhes proporcionou um ambiente de trabalho mais agradável e que os incentivou a realizar as suas atividades práticas laboratoriais de forma ordenada e eficiente, melhorando assim os resultados académicos. Além disso, a implementação do 5S gerou uma redução dos riscos laboratoriais ao nível mais baixo possível, reduzindo também as horas de trabalho e os custos envolvidos.

⁸ A classificação ABC é uma ferramenta auxiliar da gestão de *stocks* que assume que poucos itens são responsáveis pela maioria dos problemas de um sistema produtivo ou pela maioria da procura. A análise ABC pode separar os itens, por exemplo, de acordo com a classificação financeira, podendo direcionar ações para bens de maior representatividade e que se traduzirão em melhores resultados (Conceição *et al.*, 2021).

A investigação de Roberson *et al.* (2013) teve como objetivo fornecer um espaço seguro e esteticamente agradável e ganhar eficiência por meio de processos *Lean* num centro académico. Para isso, foi elaborado um inventário dos reagentes e planeado um espaço de armazenamento adequado. Os requisitos regulamentares e de segurança foram discutidos e foram utilizados diagramas de fluxo de processo para facilitar a compreensão do fluxo de trabalho no laboratório. Também neste estudo, o controlo de *stocks* envolveu a quantificação e classificação dos itens de acordo com o grau de perigosidade.

Roberson *et al.* (2013) concluíram que as medidas adotadas contribuíram para a melhoria do ambiente geral de trabalho, graças a melhorias ao nível da iluminação, estética, instalações para conferências, tecnologia de informação e conforto dos funcionários. Adicionalmente, a gestão de *stocks* ficou mais eficiente, com áreas acessíveis e adequadas para armazenamento de curto e longo prazo.

Pode concluir-se, a partir da análise dos artigos descritos neste subcapítulo, que existe uma escassez na literatura científica sobre MADs para a gestão de *stocks*, empregando o LT. Além disso, poucos estudos se dedicaram à gestão de *stocks* em meios académicos utilizando a filosofia *Lean*. No entanto, os dois estudos apresentados relataram benefícios decorrentes da aplicação da filosofia *Lean* no setor do ensino.

4.2. Modelos Quantitativos

Subsequentemente à pesquisa sobre os MADs existentes na literatura para a gestão de *stocks*, aplicando o LT, importa considerar os modelos quantitativos propostos na literatura que possam ser utilizados em MAD para a gestão de *stocks*.

O MAD proposto por Agostinho *et al.* (2021) recorreu às fórmulas matemáticas propostas por Castro *et al.* (2020), as quais permitem determinar o momento e a quantidade ótima a encomendar. Os mesmos modelos matemáticos foram aplicados na gestão de *stocks* de um hospital como parte de um sistema *Kanban* e de outras técnicas de otimização. O estudo de caso realizado revelou que esta abordagem resultou na melhoria da produtividade, no aumento da qualidade do serviço aos pacientes, na redução de custos e, o impacto mais valioso, no aumento da qualidade dos serviços de saúde para a população. Além disso, permitiu a redução de *stocks*, possíveis ruturas e custos associados.

Adicionalmente, Labuhn *et al.* (2017) descrevem um projeto bem-sucedido de otimização da cadeia de abastecimento concebido para um centro médico académico e apresentam fórmulas matemáticas para o cálculo de níveis ótimos de *stock*. Da implementação da

proposta de Labuhn *et al.* (2017) adveio uma redução do número de rupturas de *stock* por mês e uma economia de custo de *stock* de 220.500 dólares americanos.

Os modelos matemáticos propostos por Castro *et al.* (2020) e Labuhn *et al.* (2017) adequam-se à elaboração de um MAD que cumpra o objetivo de indicar o momento e a quantidade ótima de uma encomenda.

Face à sazonalidade a que a procura de itens em meios académicos está sujeita, seria útil criar um MAD que utilize informação sobre a previsão da procura para sinalizar o momento e a quantidade de encomenda. Assim sendo, foram revistos artigos sobre modelos matemáticos que permitam o cálculo de *stock* de segurança levando em consideração as previsões da procura. Mais especificamente, foram analisados os estudos de Beutel and Minner (2012); Chen, Pekny and Reklaitis (2013); Trapero, Cardós and Kourentzes (2019) e Conceição *et al.* (2021), os quais apresentaram simulações dos modelos propostos para otimizar a gestão de *stocks*.

Beutel and Minner (2012) utilizaram duas abordagens distintas para a gestão de *stocks*, sendo que a primeira abordagem utiliza modelos de regressão para prever a procura e ilustra como os erros de estimativa nessa estrutura podem ser utilizados para definir os *stocks* de segurança necessários. A segunda abordagem segue como metodologia a programação linear sob diferentes objetivos e restrições de nível de serviço para otimizar os níveis de *stock*.

Adicionalmente, Chen, Pekny and Reklaitis (2013) apresentam uma simulação na qual utilizaram a programação linear inteira mista numa estrutura computacional de otimização, para determinar o nível apropriado de níveis de *stock* de segurança.

De acordo com Trapero, Cardós and Kourentzes (2019), a variabilidade dos erros de previsão é utilizada para calcular o *stock* de segurança, para reduzir o risco de ruptura assegurando, ao mesmo tempo, um investimento razoável em *stocks*. Os autores propõem métodos empíricos baseados em estimadores de densidade Kernel⁹ (não paramétricos) e modelos paramétricos de Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva Generalizada,

⁹ Esta técnica representa a função densidade de probabilidade dos erros de previsão do *lead time* sem a necessidade de fazer suposições sobre a distribuição dos dados (Trapero, Cardós and Kourentzes, 2019).

em inglês, *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (GARCH)¹⁰, para calcular o *stock* de segurança.

A investigação de Conceição *et al.* (2021) teve como objetivo implementar uma nova gestão de *stocks* numa empresa de calçado através da análise de indicadores obtidos a partir da recolha de dados de *stocks*. Para isso, foram utilizados os métodos de análise ABC, previsão de procura, *stock* de segurança, ponto de encomenda e a quantidade ótima de encomenda.

Adicionalmente, o estudo de Xu, Qi and Hua (2010), acerca da previsão de procura após a ocorrência de desastres naturais, bem como o estudo de Conceição *et al.* (2021) referem que a regressão linear¹¹ é um dos métodos amplamente utilizados para a previsão da procura.

Em síntese, os estudos analisados fornecem uma base para a seleção de uma metodologia apropriada para o cálculo de *stocks* de segurança e para a previsão da procura.

¹⁰ Os modelos GARCH expressam a variância condicional do erro de previsão no tempo t , como uma função linear de ambos os termos de erro quadrático desfasado e termos de variância condicional desfasada (Trapero, Cardós and Kourentzes, 2019).

¹¹ A regressão linear é uma ferramenta de medição usada para determinar se existe uma relação entre variáveis. Na previsão da procura, as variáveis utilizadas são o tempo como variável independente (X) e a quantidade procurada como variável dependente (Y) (Indriyanti *et al.*, 2021).

Capítulo 5

Contextualização do Caso Prático

Neste capítulo caracteriza-se o laboratório, onde se realizou a aplicação prática de ferramentas *Lean* e especificam-se os objetivos de melhoria.

5.1. Caracterização do Laboratório de Automação e Robótica

A Universidade da Beira Interior (UBI) surgiu, primeiramente enquanto Instituto Politécnico da Covilhã, em 1973, com o objetivo de possibilitar às pessoas da região da Cova da Beira prosseguir a sua formação académica no ensino pós-secundário sem terem de se deslocar para outras zonas do país. Em 1979, passou a chamar-se Instituto Universitário da Beira Interior e, em 1986, passou a ser reconhecida como a UBI. Atualmente, esta universidade conta com mais de oito mil alunos em áreas que abrangem as Engenharias, Artes, Ciências Sociais e Humanas e da Saúde (UBI, 2022a).

Uma das faculdades que constitui a UBI é a Faculdade de Engenharia, a qual, por sua vez, integra os Departamentos de Informática, de Ciência e Tecnologias Têxteis, de Engenharia Eletromecânica, de Engenharia Civil e Arquitetura e o de Ciências Aeroespaciais (UBI, 2022b).

É na faculdade de Engenharia que se localiza o Departamento de Engenharia Eletromecânica, uma subunidade orgânica vocacionada para o ensino, investigação e prestação de serviços nas áreas científicas de Engenharia “Mecânica”, “Eletrotecnia e Eletrónica”, e “Instrumentação, Automação e Controlo” (UBI, 2022b).

Entre os laboratórios que integram este departamento, existe o LAR que serve as aulas laboratoriais das unidades curriculares de Automação Industrial, Robótica, Robótica Industrial e Sistemas Robotizados, para além de outras, dos cursos de 1º e de 2º ciclo em Engenharia Eletromecânica, Engenharia Eletrotécnica, Engenharia e Gestão Industrial e Bioengenharia.

Atendendo a que os conteúdos programáticos destas unidades curriculares englobam temas diretamente associados à automação de processos industriais e de robótica, os

alunos deverão possuir conhecimentos básicos prévios não só de programação, mas também de Eletrotécnica e Eletrónica, Automação e Controlo e Instrumentação e Medida.

A Automação Industrial evoluiu para uma disciplina multidisciplinar integrativa de várias áreas do saber, que por si só têm a sua própria existência, mas que, conjugadas com o objetivo de se obterem sistemas produtivos eficientes, ágeis e fiáveis, dão uma perspetiva muito mais lata ao conceito de Automação Industrial, em constante desenvolvimento e mutação, dada a evolução tecnológica a que se assiste (Manjunatha and Agarwal, 2022).

Atualmente, é fundamental aos alunos de Engenharia Eletromecânica, Engenharia Eletrotécnica e em Engenharia e Gestão Industrial estarem em contacto com dispositivos que permitem aplicar os conceitos e bases da Indústria 4.0, dos quais fazem parte fundamental os autómatos programáveis e a robótica. Adicionalmente, é exigido aos diplomados, ao assumirem funções de elevada responsabilidade no domínio tecnológico das empresas, o conhecimento em automação industrial e em robótica. A importância técnica e científica desta área do saber advém da necessidade de criar competências que permitam a integração dos alunos em ambientes industriais e empresariais nos domínios em questão e em equipas de investigação, despertando o gosto pelo método científico, pela inovação e pelo empreendedorismo, contribuindo assim para o incremento da qualidade da produção científica e tecnológica do país.

No ensino de ciências e engenharia, a experiência no laboratório e o exercício de habilidades científicas são dois fatores que influenciam significativamente a aprendizagem, dotando os futuros engenheiros e cientistas com um conjunto de habilidades apropriado que ajuda a alcançar as necessidades da comunidade científica. De facto, a experiência em laboratório físico é essencial aos estudantes de ciências e engenharia para a compreensão dos conceitos teóricos e práticos (Jasti, Kota and Venkataraman, 2021).

Assim, o LAR tem um papel relevante na promoção da aplicação de conhecimentos, da capacidade de interpretação e compreensão adquiridas para a resolução de problemas e conceção de projetos de automação de processos industriais, podendo incluir soluções robóticas. Neste sentido, o equipamento, dispositivos e consumíveis do LAR têm vindo a registar um aumento na procura e têm sido armazenados dentro do espaço disponível. A aplicação de ferramentas *Lean* deu-se no espaço que consiste em alguns armários de arrumação localizados no interior do LAR e não na sala de apoio conexas ao laboratório onde se encontram os restantes equipamentos, dispositivos e consumíveis.

5.2. Levantamento Inicial e Objetivos de Melhoria

Para uma aplicação eficaz de ferramentas *Lean* é essencial identificar as causas dos desperdícios (Yuksel, 2018). Assim sendo, neste subcapítulo caracteriza-se o LAR relativamente à organização do espaço, aos tempos de preparação associados à realização de uma atividade laboratorial e ao controlo de *stocks*, com o objetivo de identificar os principais desperdícios existentes.

No LAR encontram-se materiais eletrónicos, *drones*, sensores, drogaria e ferragens, microcontroladores, componentes de energia e de comunicação, entre outros.

No que diz respeito à organização do espaço, constatou-se, por observação e de acordo com as informações disponibilizadas pelos responsáveis do laboratório, que os materiais eram armazenados de forma aleatória, consoante a chegada das encomendas, isto é, a maioria dos materiais encontravam-se armazenados nas caixas e embalagens enviadas pelos fornecedores e não estavam organizados segundo uma ordem específica. Na Figura 8 é observável o espaço em que eram guardados alguns dos componentes do LAR.



Figura 8. Imagem inicial de local de armazenamento de componentes do LAR (Elaboração própria)

O facto de não existir uma ordem específica para o armazenamento de uma grande variedade de materiais dificultava a procura de materiais necessários para atividades práticas, quer de ensino, quer de investigação.

Para tornar mensurável o tempo despendido na procura de materiais, foram recolhidos os tempos envolvidos na execução de uma medição de temperatura por três indivíduos familiarizados com o espaço. Para a realização desta atividade laboratorial, eram necessários os materiais apresentados na Figura 9.

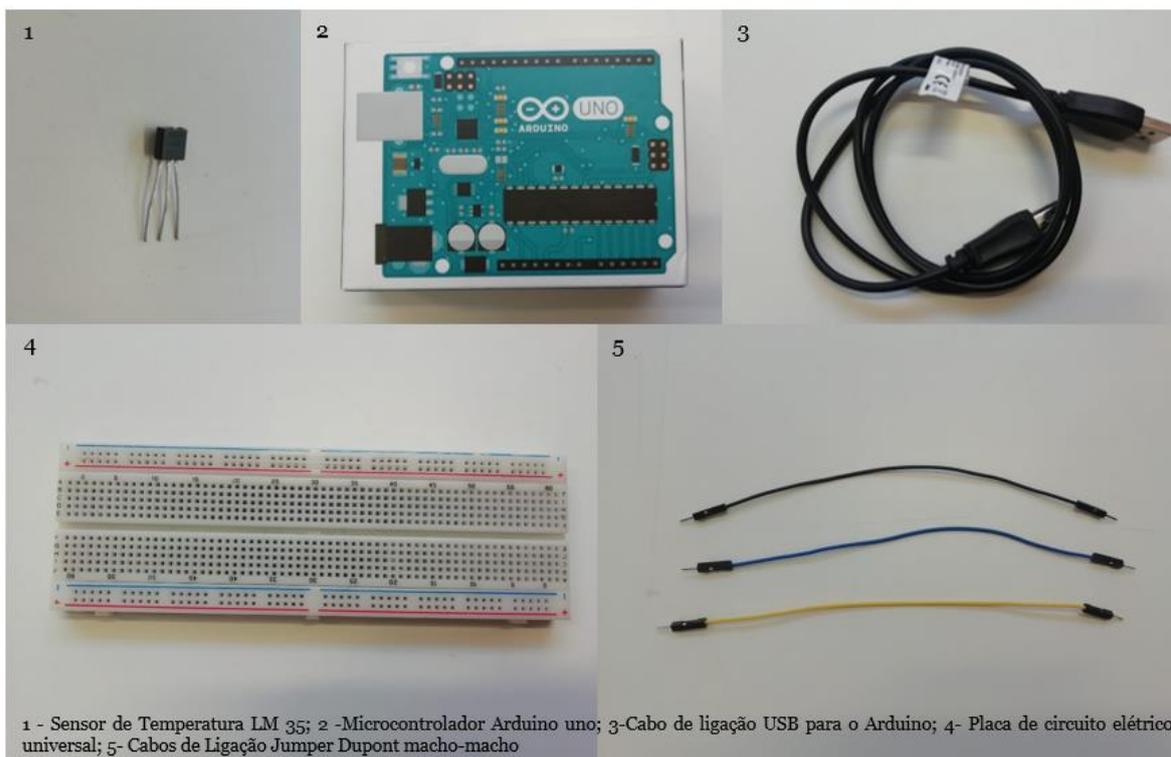


Figura 9. Materiais necessários para executar medição de temperatura (Elaboração própria)

A medição de temperatura pode ser dividida em quatro tarefas principais, como se pode observar na Tabela 5. Na mesma Tabela podem ser observados os tempos associados a cada etapa e o tempo total que cada participante demorou a completar a atividade laboratorial.

Tabela 5. Tempos de execução da medição da temperatura (Elaboração própria)

Etapas	Tempo de Execução (minutos)			Tempo Médio
	Participante 1	Participante 2	Participante 3	
1 - Procurar os Materiais	10:48,1	09:58,9	08:18,7	09:41,9
2 - Montar a Placa	01:19,3	01:16,0	01:01,1	01:12,1
3 - Ligar a Montagem ao Computador	00:16,0	00:05,0	00:12,0	00:11,0
4 – Executar Programa e Obter Resultado Final	00:31,7	02:18,1	00:34,5	01:08,1
Tempo Total	12:55,0	13:38,0	10:06,3	12:13,1

Em conformidade com os dados da Tabela 5, o tempo associado à procura dos materiais representou, em média, 79% do tempo total da execução da medição de temperatura. Uma vez que não existia um lugar específico para cada item, a procura dos materiais necessários para fazer a medição de temperatura exigia retirar e repor caixas do armário, o que representa movimentos desnecessários. Deste modo, esta experiência expõe os principais desperdícios identificados no LAR – tempos de espera e movimentos.

Assim sendo, um dos objetivos de melhoria passa por aplicar a ferramenta SMED, para reduzir o tempo de preparação (*tempo de setup*) de atividades laboratoriais, através da aplicação do 5S e da Gestão Visual, garantindo que existe uma localização específica para cada item, de modo a facilitar a procura dos materiais.

De acordo com as informações disponibilizadas, não existia qualquer controlo de *stocks* de equipamentos, materiais, dispositivos e consumíveis armazenados no espaço do LAR. Os materiais eram encomendados à medida que eram solicitados pelos utilizadores, não existindo *stocks* de segurança definidos. Uma vez que não existia uma organização eficiente do espaço e dada a fragilidade de alguns materiais, nomeadamente dos microcontroladores, muitos materiais danificavam-se com facilidade e era frequente a sua escassez. Portanto, um objetivo de melhoria adicional passa por criar um sistema que permita o controlo de *stocks* e que assegure que os materiais estejam disponíveis sempre que necessário, levando em consideração a sua procura ao longo do tempo.

Capítulo 6

Aplicação das Ferramentas *Lean*

Este capítulo inicia-se com a descrição da metodologia selecionada para a melhoria da organização do espaço no LAR e para a elaboração do MAD de gestão de *stocks*. Os resultados da aplicação das ferramentas *Lean* são apresentados e discutidos nos subcapítulos seguintes.

6.1. Caracterização das Propostas de Melhoria

Tendo em consideração os objetivos de melhoria identificados do LAR no capítulo anterior, são caracterizadas, nesta secção, as propostas de melhoria.

6.1.1. 5S, Gestão Visual e SMED

Para eliminar os tempos de preparação e movimentos desnecessários envolvidos na procura de materiais para a preparação de atividades laboratoriais, planeou-se a implementação conjunta das ferramentas 5S, Gestão Visual e SMED.

Em primeiro lugar, foram eliminadas do local destinado ao armazenamento de materiais caixas vazias e tudo o que não era necessário, tal como proposto na primeira fase do 5S (*Seiri*).

Em segundo lugar, os itens do armário foram identificados, incluindo na descrição, sempre que possível, o número de fabricante para uma mais rápida identificação dos mesmos, quer quando são necessários para atividades laboratoriais, quer para efetuar pedidos de encomenda. A lista dos materiais identificados encontra-se no Anexo I.

Os itens foram também agrupados nas seguintes categorias: “Ferramentas”, “Drones”, “Comunicação”, “Drogaria e Ferragens”, “Caixas e Cablagens”, “Energia”, “Sensores”, “Eletrónica” e “Microcontroladores”.

Os artigos foram classificados segundo o seu nível de procura (alta ou baixa), para garantir que os itens mais procurados ficavam em locais mais acessíveis. Além disso, para planear a compra de materiais de arrumação, os itens foram classificados em função do seu tamanho. Consoante a informação reunida, foi designado um local específico para cada

categoria e item, em cumprimento da segunda etapa da metodologia 5S (*Seiton*). A Figura 10 resume as etapas envolvidas na ordenação dos materiais.

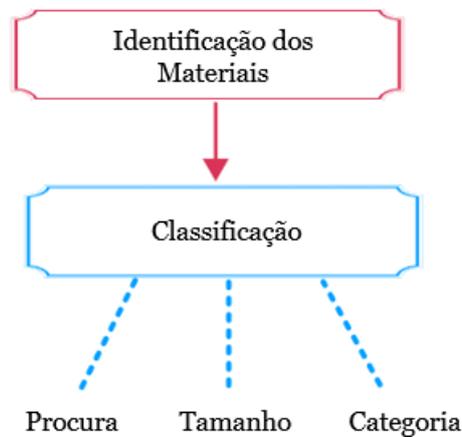


Figura 10. Etapas para a ordenação dos materiais (Elaboração própria)

Após a seleção e a ordenação dos materiais, o local de armazenamento foi limpo (*Seiso*), de modo a instigar a ordem do local de trabalho através da eliminação de resíduos.

Além disso, foram atribuídas etiquetas com cores para cada uma das diferentes categorias, para uma identificação mais expedita e facilitada dos componentes, contribuindo para a redução dos tempos de preparação e estabelecendo, simultaneamente, regras para a localização dos materiais. As regras estabelecidas através da Gestão Visual permitiram a padronização (*Seiketsu*).

Para a consolidação das etapas aplicadas da metodologia 5S e manutenção dos resultados atingidos, é necessária disciplina (*Shitsuke*) por parte dos utilizadores do espaço. Com esse fim, transmitiu-se o modo de organização aplicado aos principais responsáveis pelo espaço alvo da intervenção.

6.1.2. Modelo de Apoio à Decisão e-Kanban

O MAD foi desenvolvido no *software Microsoft Excel*, uma ferramenta amplamente utilizada para a análise e visualização de dados.

A elaboração do MAD foi motivada pela necessidade de um controlo mais eficaz dos *stocks* no LAR, tendo em consideração os diferentes níveis de procura dos artigos. O MAD foi concebido para dar indicação sobre quando e em que quantidade se deve encomendar um

artigo, evitando, por um lado, a rutura de *stocks* e, ao mesmo tempo, minimizando os custos associados a níveis excessivos de *stock*.

O MAD divide-se em duas vertentes: auxilia a gestão de *stocks* no início de cada semestre segundo o planeamento de aulas laboratoriais e, além disso, permite, utilizando fórmulas matemáticas distintas, a gestão de *stocks* ao longo do semestre de artigos utilizados em atividades não só de ensino, mas também de investigação. Seguidamente, descrevem-se as fórmulas matemáticas incorporadas no MAD.

Para assegurar a disponibilidade de materiais necessários às aulas práticas laboratoriais, propõe-se que, no início de cada semestre, seja elaborado um planeamento da quantidade de materiais necessários, segundo o número de aulas laboratoriais a lecionar durante o semestre, o número de grupos de trabalho por aula e as informações constantes nos protocolos das atividades laboratoriais. Este planeamento permitirá apurar previamente o número de materiais necessários e assegurar a disponibilidade dos mesmos.

O MAD trata-se de um *e-Kanban* que sinaliza a necessidade de efetuar uma encomenda quando se verificar a condição:

$$S < Q \quad (2)$$

Onde Q é a quantidade de necessária de itens para aulas laboratoriais de cada semestre e S é o *stock* existente. O facto de existirem componentes frágeis e que facilmente se danificam deve também refletir-se no cálculo da quantidade a encomendar indicada no MAD. Assim, a quantidade a encomendar (Q_e) no início de cada semestre é dada pela seguinte expressão:

$$Q_e = Q \times (1+p) - S \quad (3)$$

Onde p representa a proporção prevista de itens encomendados que se deterioram ou ficam, de algum modo, inutilizados, tendo sido os restantes parâmetros da equação descritos anteriormente.

O cálculo de Q deve ser distinto consoante duas possíveis situações. Caso os materiais possam ser reutilizados, isto é, caso possam ser usados por diferentes grupos em diferentes aulas laboratoriais, Q é calculado segundo a Equação 4. Quando isso não é possível, utiliza-se a Equação 5.

$$Q = G \times N \quad (4)$$

$$Q = AL \times G \times N \quad (5)$$

Onde G é o número de grupos de trabalho por aula laboratorial, N é o número de itens necessários na atividade laboratorial para cada artigo e AL é o número de aulas laboratoriais por semestre.

Relativamente à gestão de *stocks* ao longo do semestre, o MAD indica também quando se deve efetuar a encomenda e em que quantidade. No entanto, a sinalização da necessidade de fazer um pedido de encomenda é distinta para artigos em função do seu nível de procura. Para artigos com uma procura baixa, deve verificar-se a condição da Equação 6, para que seja necessário efetuar uma encomenda. No caso de artigos com uma procura alta considera-se a condição da Equação 7 (Castro *et al.*, 2020).

$$S \leq S_{min} \quad (6)$$

$$S \leq Q_{ee} \quad (7)$$

Onde S_{min} é o *stock* mínimo e Q_{ee} é a quantidade ótima, ou quantidade económica de encomenda.

A Q_{ee} pode ser calculada através da Equação 8 (Nagarur, Hu and Baid, 1994).

$$Q_{ee} = \sqrt{\frac{2 \times c_p \times P_m}{c_h}} \quad (8)$$

Onde c_p é o custo de pedido de encomenda, c_h é o custo de manutenção de *stock* por mês e P_m é a procura média mensal.

A quantidade a encomendar calculada no MAD varia também em função da procura. Para uma procura baixa, a quantidade a encomendar é dada pela Equação 9. Para artigos com procura alta, considera-se a Equação 10 (Castro *et al.*, 2020).

$$Q_e = S_{max} - S + Q_p \quad (9)$$

$$Q_e = Q_{ee} - S \quad (10)$$

As Equações 6 e 9 propostas por Castro *et al.* (2020) utilizam *stocks* máximos e mínimos. O MAD utiliza uma adaptação das fórmulas propostas por Labuhn *et al.* (2017), correspondentes às Equações 11 e 12 para o cálculo destes valores.

$$S_{max} = P_m \times f_r + Z_p \times D_p \times \sqrt{\frac{30}{f_r}} + SS \quad (11)$$

$$S_{min} = Z_p \times D_p \times \sqrt{\frac{30}{f_r}} + SS + \frac{P_m}{30} \times L \quad (12)$$

Onde P_m representa a procura média mensal do artigo, D_p é o desvio padrão da procura mensal, f_r corresponde à frequência de reposição por mês, Z_p representa a frequência relativa da presença de um item em *stock* quando necessário, SS representa o *stock* de segurança e L corresponde ao *lead time* em dias, isto é, ao tempo entre o ato da encomenda e a entrega efetiva.

Para o cálculo do *stock* de segurança, foram utilizados modelos matemáticos que consideram a previsão da procura. Segundo Conceição *et al.* (2021), a flutuação da procura é um problema relevante que deve ser tido em consideração na gestão de *stocks*. Assim, a previsão da procura é essencial ao estudo dos *stocks*, dado que fornece informação, com base em projeções do futuro, sobre que produtos são necessários, em que quantidade e quando.

Visto existir uma flutuação considerável ao longo do ano letivo na procura de materiais no LAR, propõe-se a análise dos níveis de quantidade procurada verificados durante um ano letivo para prever valores de procura.

Em conformidade com Xu, Qi and Hua (2010) e Conceição *et al.* (2021), a regressão linear é um método estatístico que tem sido amplamente utilizado para a previsão da procura. Assim sendo, recorreu-se à função do *Microsoft Excel* para estimar a equação correspondente à linha de tendência para a procura de cada artigo. Trapero, Cardós and Kourentzes (2019) propõem o cálculo do *stock* de segurança, segundo uma abordagem teórica, utilizando a seguinte expressão:

$$SS = K \times \sigma_L \quad (13)$$

Onde K é o fator de segurança obtido pela Equação 14 e onde o σ_L é o desvio padrão do erro de previsão para um determinado *lead time*.

$$K = \Phi^{-1} \times (1 - \text{CSL}) \quad (14)$$

Na Equação 14, $\Phi(\cdot)$ denota a função de distribuição cumulativa normal padrão e o *Customer Service Level* (CSL), segundo Chen, Pekny and Reklaitis (2013), corresponde ao quociente entre o somatório da procura satisfeita e a procura total.

Adicionalmente, o cálculo do σ_L apresentado na Equação 13, baseia-se na Equação 15.

$$\sigma_L = \sqrt{L} \times \sigma_1 \quad (15)$$

Onde L é o *lead time* e o σ_1 é dado pela Equação 16:

$$\sigma_1 = \sqrt{\text{MSE}_{t+1}} \quad (16)$$

De acordo com Trapero, Cardós and Kourentzes (2019), o σ_1 pode ser estimado através do cálculo do Erro Quadrático Médio, em inglês, *Mean Squared Error* (MSE) para o período t e para o período $t+1$, os quais são dados, respetivamente, pelas Equações 17 e 18:

$$\text{MSE}_t = \frac{1}{n} \times \sum_{t=1}^n (y_t - F_t)^2 \quad (17)$$

$$\text{MSE}_{t+1} = \alpha' \times (y_t - F_t)^2 + (1 - \alpha') \times \text{MSE}_t \quad (18)$$

Onde n é o tamanho da amostra, Y_t é o valor real da procura no período t , F_t é o valor previsto da procura para o mesmo período t (o qual é obtido através de uma regressão linear) e α' uma constante de aproximação que varia entre 0 e 1, apesar de ser mais comum a utilização de valores pequenos, ente 0,01 e 0,1.

Para além do MAD indicar a quantidade e o momento de efetuar uma encomenda, também inclui, para cada artigo, uma codificação específica tendo em consideração a localização do artigo no LAR e a categoria a que pertence. Na Figura 11, apresenta-se o código correspondente ao “Transistor TIP 120” para exemplificar o significado dos caracteres atribuídos aos artigos.

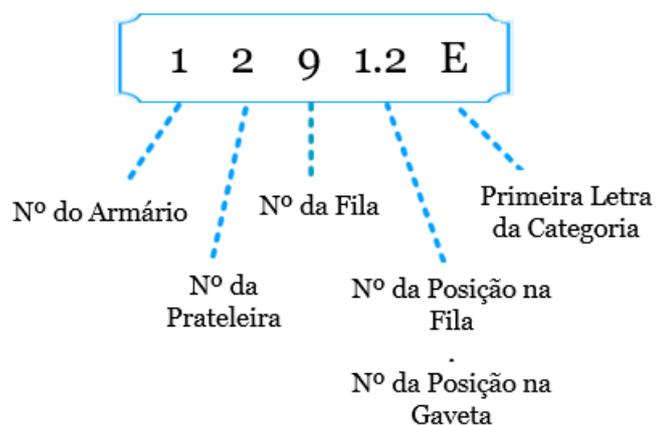


Figura 11. Codificação proposta no MAD (Elaboração própria)

A codificação proposta visa permitir uma identificação dos artigos mais rápida, estando associada à localização dos mesmos. Dado que na gaveta em que o Transistor TIP 120 se encontra existe mais do que um compartimento, é atribuído um número à posição do item na gaveta. A Figura 12 associa os números atribuídos na codificação à localização dos respetivos artigos.



Figura 12. Numeração atribuída em função da localização (Elaboração própria)

Na Figura 12, os artigos que estão assinalados com um círculo branco são os artigos utilizados como exemplo da aplicação do MAD exibida no subcapítulo 6.2.2.

6.2. Implementação das Ferramentas

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados da implementação das ferramentas, suportados por imagens, subsequentes à aplicação das propostas de melhoria apresentadas no subcapítulo anterior.

6.2.1. 5S, Gestão Visual e SMED

Para organizar os materiais que se encontravam no armário observável na Figura 8 foi utilizado mais um armário, aplicando as ferramentas 5S e Gestão Visual.

No armário 1, que se apresenta na Figura 12, encontram-se os componentes pertencentes às categorias “Eletrónica” e “Microcontroladores”, às quais foram atribuídas as cores azul e verde, respetivamente.

No armário 2, que surge na Figura 13, estão os componentes de “Drones” (Azul-claro), “Ferramentas” (Laranja-tijolo), “Comunicação” (Vermelho), “Caixas e Cablagens” (Roxo), “Drogaria e Ferragens” (Cinzento), “Energia” (Laranja) e “Sensores” (Amarelo).



Figura 13. Armário 2 (Elaboração própria)

Como técnicas de Gestão visual, foram utilizados códigos de cores e etiquetas, de forma a providenciar informação sobre a localização dos materiais, recorrendo a uma comunicação simples e visual.

Além disso, sempre que possível, foram incluídas etiquetas no interior de cada gaveta com o número de fabricante, o que permite uma mais rápida identificação dos componentes, dadas as suas reduzidas dimensões, conforme se ilustra na Figura 14.



Figura 14. Identificação do número de fabricante nas gavetas de arrumação (Elaboração própria)

Após a implementação de 5S e da Gestão Visual foi repetida a atividade laboratorial que consistia na medição de temperatura, por parte de 3 participantes, com o intuito de averiguar se a melhoria na organização dos componentes se traduziu numa redução do tempo de preparação da atividade laboratorial. Os resultados obtidos constam da Tabela 6.

Tabela 6. Tempos de execução da medição da temperatura após a implementação de ferramentas *Lean* (Elaboração própria)

Etapas	Tempo de Execução (minutos)			Tempo Médio
	Participante 1	Participante 2	Participante 3	
1 - Procurar os Materiais	00:41,1	00:37,5	00:40,0	00:39,5
2 - Montar a Placa	00:45,9	00:52,9	00:49,8	00:49,5
3 - Ligar a Montagem ao Computador	00:05,0	00:05,8	00:04,5	00:05,1
4 - Executar Programa e Obter Resultado Final	00:28,8	00:24,7	00:25,9	00:26,5
Tempo Total	02:00,8	02:00,9	02:00,2	02:00,6

A partir dos resultados apresentados, pode inferir-se que houve uma redução significativa no tempo médio associado à procura de materiais.

No estudo de caso, a aplicação da ferramenta SMED foi combinada com outras ferramentas, nomeadamente com o 5S e a Gestão Visual, segundo o que Silva and Filho (2019) defenderam.

A ferramenta SMED foi aplicada através da redução dos tempos de preparação das atividades laboratoriais, da eliminação de operações não essenciais e da criação de instruções padronizadas para a localização dos componentes.

No caso prático, a implementação do 5S, da Gestão Visual e do SMED permitiram também eliminar movimentos desnecessários. Durante a repetição da experiência, foi observado que, por ser mais fácil e rápida a identificação de materiais, foram minimizados movimentos que antes eram necessários para remover as caixas dos armários e para procurar os materiais.

6.2.2. Cenário de Utilização do Modelo de Apoio à Decisão *e-Kanban*

Apresenta-se de seguida uma simulação relativamente ao MAD anteriormente descrito, tendo como referência os materiais utilizados na atividade laboratorial do protocolo presente no Anexo II, que consiste na montagem de um circuito elétrico. Optou-se pela apresentação de um cenário de utilização do MAD com o conjunto de itens da referida atividade com o objetivo de demonstrar a utilidade desta ferramenta para assegurar a disponibilidade dos itens necessários à realização de aulas práticas no início de cada semestre.

A Figura 15 apresenta a página inicial do MAD, que contém informações que elucidam o utilizador sobre o modo de funcionamento do sistema.

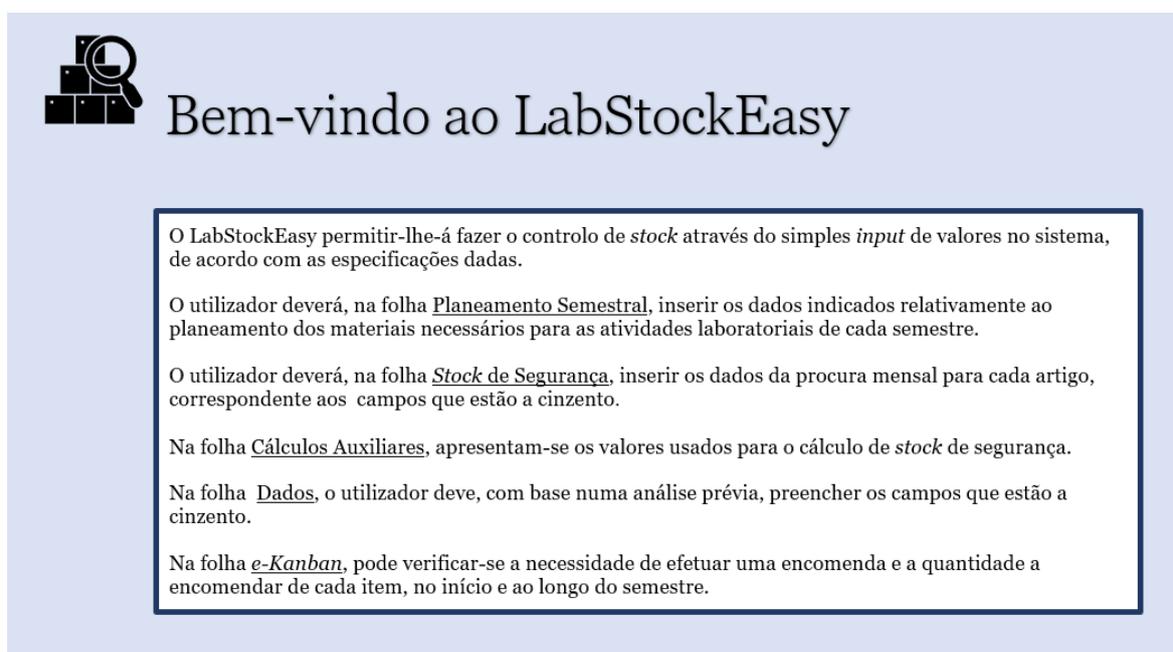


Figura 15. Página inicial do Modelo de Apoio à Decisão (Elaboração própria)

A folha seguinte, intitulada “Planeamento Semestral”, deve ser preenchida no início de cada semestre, após o levantamento sobre o número de aulas laboratoriais a serem lecionadas e sobre os materiais necessários para cada uma dessas aulas. Nesta simulação, os valores admitidos para cada um dos parâmetros são os observáveis na Figura 16.

Planeamento das Necessidades de Materiais							
Código do artigo	Artigo	S	Reutilizável	p	N	Q 1º Semestre	Q 2º Semestre
1291.2E	Transistor TIP120	10	Sim	0,2	1	5	5
1236.1E	Resistência 2,2 K Ω (Transistor)	2	Sim	0,05	1	5	5
1236.2E	Resistência 22 K Ω (Pull-Down)	3	Sim	0,05	1	5	5
1236.3E	Resistência 220 Ω (Divisor de tensão)	1	Sim	0,05	1	5	5
12101E	Díodo IN4007	0	Sim	0,1	1	5	5
1281E	Interruptor	2	Sim	0	1	5	5
1237E	LDR	3	Sim	0,1	1	5	5
1271E	Placa de circuito elétrico universal (Breadboard)	5	Sim	0	1	5	5
12133E	Arduino	3	Sim	0	1	5	5

	AL	G
1º Semestre	5	5
2º Semestre	8	5

Informação
S - Stock existente [unidades]
AL - N° de aulas laboratoriais por semestre
G - N° de grupos de trabalho por aula laboratorial
N - N° de itens necessários na atividade laboratorial para cada artigo [unidades]
p - Proporção de itens encomendados que se deterioram ou ficam inutilizados durante 1 semestre
Q - Quantidade necessária de itens para aulas laboratoriais de cada semestre [unidades]

Figura 16. Folha "Planeamento Semestral" (Elaboração própria)

As três folhas seguintes contêm os dados necessários para a gestão de *stocks* ao longo do semestre.

Na folha “Stock de Segurança” (Figura 17), surge a procura mensal respeitante ao ano letivo anterior. Com base nesses dados é calculada a procura média, o desvio padrão da procura e o *stock* de segurança que deve ser mantido para cada artigo no mês atual, levando em consideração a previsão da procura, obtida através da regressão linear. No cenário apresentado considera-se que o mês atual é setembro. Os campos preenchidos a cinzento dizem respeito a informações que devem ser preenchidas pelo utilizador. Apesar do *stock* de segurança ser calculado automaticamente, a célula está preenchida a cinzento, uma vez que o utilizador deve verificar se os valores apresentados nesta folha correspondem ao mês atual.

				Procura Mensal													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Código do artigo	Artigo	Categoria	Procura	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Procura Total	Pm	Dp	SS
1291.2E	Transistor TIP120	Eletrônica	Alta	3	5	4	3	2	3	4	6	6	3	39	3,9	1,37032	0
1236.1E	Resistência 2,2 KΩ (Transistor)	Eletrônica	Baixa	3	1	1	3	1	1	3	6	6	6	31	3,1	2,18327	1
1236.2E	Resistência 22 KΩ (Pull-Down)	Eletrônica	Baixa	1	5	4	2	5	2	3	4	3	2	31	3,1	1,37032	0
1236.3E	Resistência 220Ω (Divisor de tensão)	Eletrônica	Baixa	3	4	6	1	2	1	3	5	3	2	30	3	1,63299	0
12101E	Díodo IN4007	Eletrônica	Baixa	5	3	1	1	1	2	1	3	5	4	26	2,6	1,64655	1
1281E	Interruptor	Eletrônica	Baixa	0	1	2	4	2	0	5	3	3	2	22	2,2	1,61933	0
1237E	LDR	Eletrônica	Baixa	0	2	2	3	4	2	5	6	4	2	30	3	1,76383	0
1271E	Placa de circuito elétrico universal (Breadboard)	Eletrônica	Alta	2	8	4	2	8	2	5	4	3	2	40	4	2,35702	1
12133E	Arduino	Microcontroladores	Alta	6	8	9	1	2	1	3	5	3	2	40	4	2,86744	0

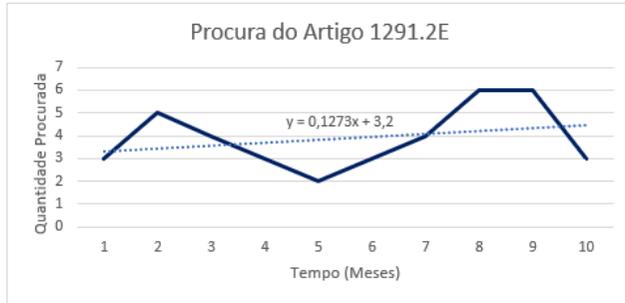
Informação

Pm - Procura média mensal [unidades]
Dp - Desvio padrão da procura mensal
SS - Stock de segurança [unidades]

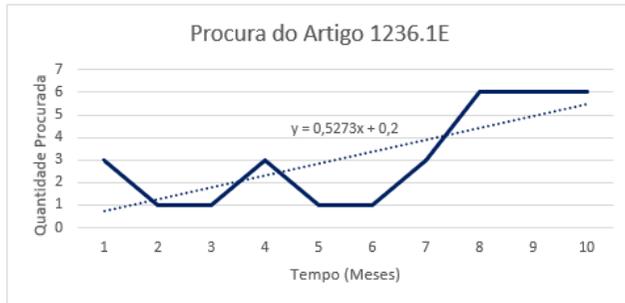
Figura 17. Folha "Stock de Segurança" (Elaboração própria)

Na Figura 18 apresentam-se as linhas de tendência de cada um dos artigos, as equações que lhe estão associadas e os restantes dados envolvidos no cálculo do *stock* de segurança.

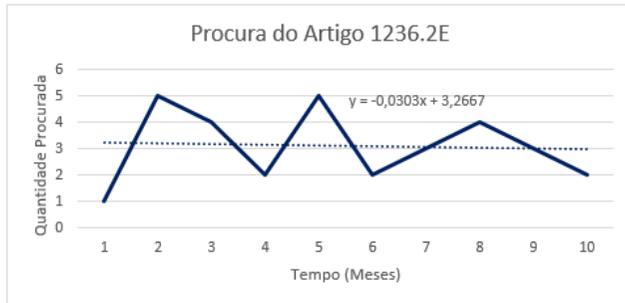
Valores	
CSL	0,4
K	0,26
α'	0,05



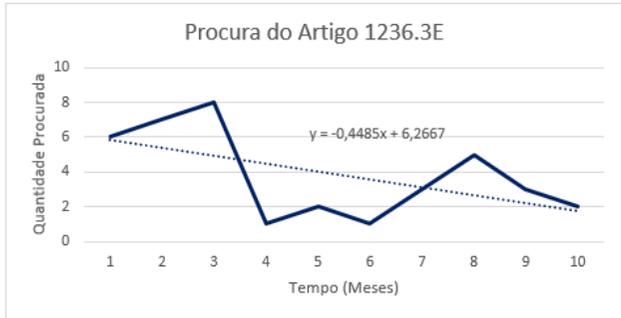
Mês	Yt	Ft	Erro	Erro^2	Erro^2 Acumulado	MSE t	MSE t+1	σ_1	σ_L	SS
1	3	3,3273	-0,3273	0,107125	0,10712529	0,010713	0,015533	0,124632	0,394121	0
2	5	3,4546	1,5454	2,388261	2,49538645	0,249539	0,356475	0,597055	1,888054	0
3	4	3,5819	0,4181	0,174808	2,67019406	0,267019	0,262409	0,512259	1,619904	0
4	3	3,7092	-0,7092	0,502965	3,1731587	0,317316	0,326598	0,571488	1,807203	0
5	2	3,8365	-1,8365	3,372732	6,54589095	0,654589	0,790496	0,889099	2,811577	1
6	3	3,9638	-0,9638	0,92891	7,47480139	0,74748	0,756552	0,8698	2,750548	1
7	4	4,0911	-0,0911	0,008299	7,4831006	0,74831	0,71131	0,843392	2,667039	1
8	6	4,2184	1,7816	3,174099	10,65719916	1,06572	1,171139	1,082192	3,422191	1
9	6	4,3457	1,6543	2,736708	13,39390765	1,339391	1,409257	1,187121	3,754007	1
10	3	4,473	-1,473	2,169729	15,56363665	1,556364	1,587032	1,259775	3,983757	1



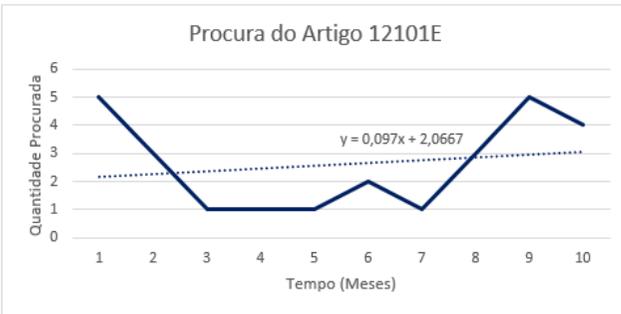
Mês	Yt	Ft	Erro	Erro^2	Erro^2 Acumulado	MSE t	MSE t+1	σ_1	σ_L	SS
1	3	0,7273	2,2727	5,165165	5,16516529	0,516517	0,748949	0,865418	3,351751	1
2	1	1,2546	-0,2546	0,064821	5,22998645	0,522999	0,50009	0,70717	2,738859	1
3	1	1,7819	-0,7819	0,611368	5,84135406	0,584135	0,585497	0,765178	2,963521	1
4	3	2,3092	0,6908	0,477205	6,3185587	0,631856	0,624123	0,790015	3,059714	1
5	1	2,8365	-1,8365	3,372732	9,69129095	0,969129	1,089309	1,0437	4,042232	1
6	1	3,3638	-2,3638	5,58755	15,27884139	1,527884	1,730867	1,315624	5,095391	1
7	3	3,8911	-0,8911	0,794059	16,0729006	1,60729	1,566629	1,25165	4,847621	1
8	6	4,4184	1,5816	2,501459	18,57435916	1,857436	1,889637	1,374641	5,323961	1
9	6	4,9457	1,0543	1,111548	19,68590765	1,968591	1,925739	1,38771	5,374577	1
10	6	5,473	0,527	0,277729	19,96363665	1,996364	1,910432	1,382184	5,353175	1



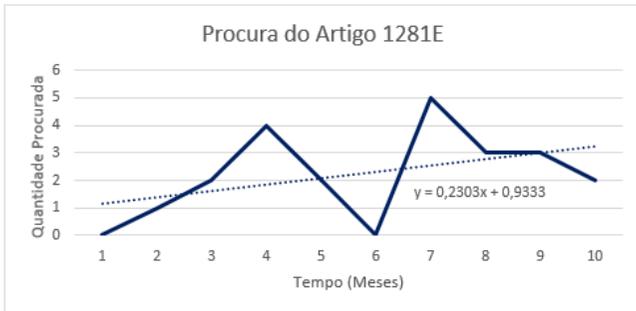
Mês	Yt	Ft	Erro	Erro ^2	Erro^2 Acumulado	MSE t	MSE t+1	σ_1	σ_L	SS
1	2	3,2364	-1,2364	1,528685	1,52868496	0,152868	0,221659	0,470807	1,488823	0
2	6	3,2061	2,7939	7,805877	9,33456217	0,933456	1,277077	1,130078	3,573622	1
3	4	3,1758	0,8242	0,679306	10,01386781	1,001387	0,985283	0,992614	3,138921	1
4	2	3,1455	-1,1455	1,31217	11,32603806	1,132604	1,141582	1,068448	3,378731	1
5	6	3,1152	2,8848	8,322071	19,6481091	1,964811	2,282674	1,510852	4,777734	1
6	2	3,0849	-1,0849	1,177008	20,82511711	2,082512	2,037237	1,427318	4,513576	1
7	5	3,0546	1,9454	3,784581	24,60969827	2,46097	2,52715	1,589701	5,027077	1
8	4	3,0243	0,9757	0,95199	25,56168876	2,556169	2,47596	1,573518	4,975902	1
9	3	2,994	0,006	3,6E-05	25,56172476	2,556172	2,428366	1,558321	4,927845	1
10	2	2,9637	-0,9637	0,928718	26,49044245	2,649044	2,563028	1,600946	5,062636	1



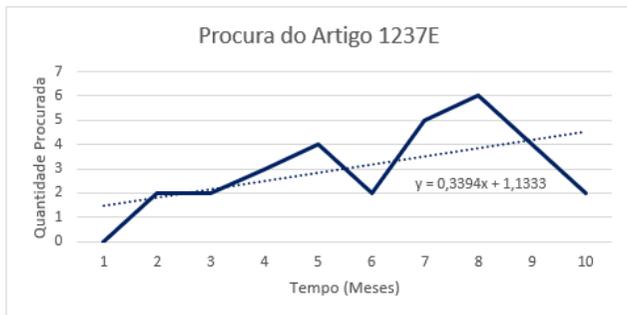
Mês	Yt	Ft	Erro	Erro ^2	Erro^2 Acumulado	MSE t	MSE t+1	σ_1	σ_L	SS
1	6	5,8182	0,1818	0,033051	0,03305124	0,003305	0,004792	0,069227	0,268116	0
2	7	5,3697	1,6303	2,657878	2,69092933	0,269093	0,388532	0,623324	2,414122	1
3	8	4,9212	3,0788	9,479009	12,16993877	1,216994	1,630095	1,276752	4,944838	1
4	1	4,4727	-3,4727	12,05965	24,22958406	2,422958	2,904793	1,704345	6,600901	2
5	2	4,0242	-2,0242	4,097386	28,3269697	2,832697	2,895931	1,701744	6,590825	2
6	1	3,5757	-2,5757	6,63423	34,96120019	3,49612	3,653026	1,911289	7,40239	2
7	3	3,1272	-0,1272	0,01618	34,97738003	3,497738	3,32366	1,823091	7,0608	2
8	5	2,6787	2,3213	5,388434	40,36581372	4,036581	4,104174	2,025876	7,846184	2
9	3	2,2302	0,7698	0,592592	40,95840576	4,095841	3,920678	1,98007	7,668779	2
10	2	1,7817	0,2183	0,047655	41,00606065	4,100606	3,897959	1,974325	7,646527	2



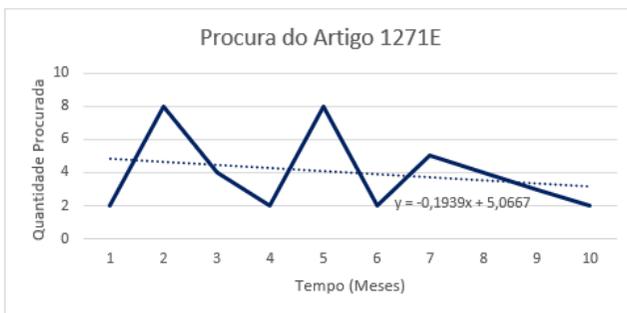
Mês	Yt	Ft	Erro	Erro ^2	Erro^2 Acumulado	MSE t	MSE t+1	σ_1	σ_L	SS
1	5	2,1637	2,8363	8,044598	8,04459769	0,80446	1,166467	1,080031	3,415357	1
2	3	2,2607	0,7393	0,546564	8,59116218	0,859116	0,843489	0,918416	2,904288	1
3	1	2,3577	-1,3577	1,843349	10,43451147	1,043451	1,083446	1,040887	3,291574	1
4	1	2,4547	-1,4547	2,116152	12,55066356	1,255066	1,298121	1,139351	3,602944	1
5	1	2,5517	-1,5517	2,407773	14,95843645	1,495844	1,54144	1,241547	3,926118	1
6	2	2,6487	-0,6487	0,420812	15,37924814	1,537925	1,482069	1,217403	3,849765	1
7	1	2,7457	-1,7457	3,047468	18,42671663	1,842672	1,902912	1,379461	4,362237	1
8	3	2,8427	0,1573	0,024743	18,45145992	1,845146	1,754126	1,324434	4,188229	1
9	5	2,9397	2,0603	4,244836	22,69629601	2,26963	2,36839	1,538957	4,866611	1
10	4	3,0367	0,9633	0,927947	23,6242429	2,362424	2,2907	1,513506	4,786126	1



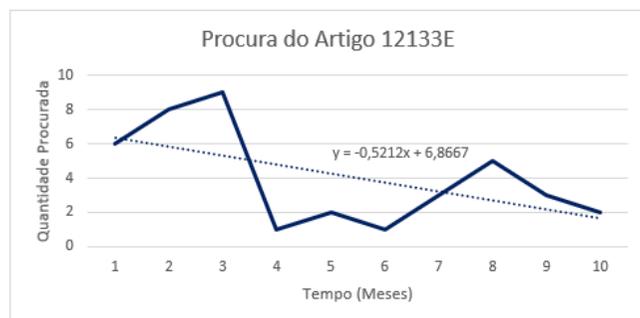
Mês	Yt	Ft	Erro	Erro ^2	Erro^2 Acumulado	MSE t	MSE t+1	σ_1	σ_L	SS
1	0	1,1636	-1,1636	1,353965	1,35396496	0,135396	0,196325	0,443086	1,40116	0
2	1	1,3939	-0,3939	0,155157	1,50912217	0,150912	0,151124	0,388747	1,229327	0
3	2	1,6242	0,3758	0,141226	1,65034781	0,165035	0,163844	0,404777	1,280017	0
4	4	1,8545	2,1455	4,60317	6,25351806	0,625352	0,824243	0,907878	2,870963	1
5	2	2,0848	-0,0848	0,007191	6,2607091	0,626071	0,595127	0,771445	2,439522	1
6	0	2,3151	-2,3151	5,359688	11,62039711	1,16204	1,371922	1,171291	3,703947	1
7	5	2,5454	2,4546	6,025061	17,64545827	1,764546	1,977572	1,406262	4,44699	1
8	3	2,7757	0,2243	0,05031	17,69576876	1,769577	1,683614	1,297541	4,103186	1
9	3	3,006	-0,006	3,6E-05	17,69580476	1,76958	1,681103	1,296574	4,100126	1
10	2	3,2363	-1,2363	1,528438	19,22424245	1,922424	1,902725	1,379393	4,362024	1



Mês	Yt	Ft	Erro	Erro^2	Erro^2 Acumulado	MSE t	MSE t+1	σ1	σL	SS
1	0	1,4727	-1,4727	2,168845	2,16884529	0,216885	0,314483	0,560787	1,773366	0
2	2	1,8121	0,1879	0,035306	2,2041517	0,220415	0,21116	0,459521	1,453134	0
3	2	2,1515	-0,1515	0,022952	2,22710395	0,22271	0,212722	0,461218	1,458501	0
4	3	2,4909	0,5091	0,259183	2,48628676	0,248629	0,249156	0,499156	1,578469	0
5	4	2,8303	1,1697	1,368198	3,85448485	0,385448	0,434586	0,659231	2,084673	1
6	2	3,1697	-1,1697	1,368198	5,22268294	0,522268	0,564565	0,751375	2,376057	1
7	5	3,5091	1,4909	2,222783	7,44546575	0,744547	0,818458	0,904687	2,860871	1
8	6	3,8485	2,1515	4,628952	12,074418	1,207442	1,378517	1,174103	3,712839	1
9	4	4,1879	-0,1879	0,035306	12,10972441	1,210972	1,152189	1,073401	3,394391	1
10	2	4,5273	-2,5273	6,387245	18,4969697	1,849697	2,076574	1,441032	4,556945	1



Mês	Yt	Ft	Erro	Erro^2	Erro^2 Acumulado	MSE t	MSE t+1	σ1	σL	SS
1	2	4,8728	-2,8728	8,25298	8,25297984	0,825298	1,196682	1,09393	3,459309	1
2	8	4,6789	3,3211	11,02971	19,28268505	1,928269	2,38334	1,543807	4,881947	1
3	4	4,485	-0,485	0,235225	19,51791005	1,951791	1,865963	1,366002	4,319679	1
4	2	4,2911	-2,2911	5,249139	24,76704926	2,476705	2,615327	1,617197	5,114026	1
5	8	4,0972	3,9028	15,23185	39,9988971	3,99989	4,561488	2,135764	6,753879	2
6	2	3,9033	-1,9033	3,622551	43,62144799	4,362145	4,325165	2,079703	6,576599	2
7	5	3,7094	1,2906	1,665648	45,28709635	4,52871	4,385557	2,094172	6,622353	2
8	4	3,5155	0,4845	0,23474	45,5218366	4,552184	4,336311	2,082381	6,585068	2
9	3	3,3216	-0,3216	0,103427	45,62526316	4,562526	4,339571	2,083164	6,587542	2
10	2	3,1277	-1,1277	1,271707	46,89697045	4,689697	4,518798	2,125746	6,7222	2



Mês	Yt	Ft	Erro	Erro^2	Erro^2 Acumulado	MSE t	MSE t+1	σ1	σL	SS
1	6	6,3455	-0,3455	0,11937	0,11937025	0,011937	0,017309	0,131562	0,416037	0
2	8	5,8243	2,1757	4,73367	4,85304074	0,485304	0,697722	0,835298	2,641444	1
3	9	5,3031	3,6969	13,66707	18,52011035	1,852011	2,442764	1,562934	4,942433	1
4	1	4,7819	-3,7819	14,30277	32,82287796	3,282288	3,833312	1,957885	6,191374	2
5	2	4,2607	-2,2607	5,110764	37,93364245	3,793364	3,859234	1,964493	6,212274	2
6	1	3,7395	-2,7395	7,50486	45,4385027	4,54385	4,691901	2,16608	6,849745	2
7	3	3,2183	-0,2183	0,047655	45,48615759	4,548616	4,323568	2,079319	6,575384	2
8	5	2,6971	2,3029	5,303348	50,789506	5,078951	5,09017	2,256141	7,134543	2
9	3	2,1759	0,8241	0,679141	51,46864681	5,146865	4,923478	2,218891	7,01675	2
10	2	1,6547	0,3453	0,119232	51,5878789	5,158788	4,90681	2,215132	7,004863	2

Figura 18. Folha "Cálculos Auxiliares" (Elaboração própria)

Devido às variações do nível de procura em função do mês, deve ser mantido um *stock* de segurança em função da variável “tempo”. Os valores de *stock* de segurança associados a cada mês são exibidos na Figura anterior, assim como os valores dos parâmetros necessários ao seu cálculo.

Na folha “Dados”, observável na Figura 19, surgem os valores de parâmetros necessários ao cálculo dos *stocks* máximos e mínimos de cada artigo.

Código do artigo	Artigo	Pm	Fr	Zp	Dp	SS	L	Cp	Ch	Qee	Q	S	Qp
1291.2E	Transistor TIP120	3,9	2	1	1,3703	0	10	1,2	0,5	4	5	7	1
1236.1E	Resistência 2,2 KΩ (Transistor)	3,1	1	1	2,1833	1	15	1,2	0,5	4	5	1	0
1236.2E	Resistência 22 KΩ (Pull-Down)	3,1	2	1	1,3703	0	10	1,2	0,5	4	5	8	2
1236.3E	Resistência 220Ω (Divisor de tensão)	3	1	1	1,6330	0	15	1,2	0,5	4	5	1	0
12101E	Diodo 1N4007	2,6	2	1	1,6465	1	10	1,2	0,5	4	5	5	0
1281E	Interruptor	2,2	1	1	1,6193	0	10	1,2	0,5	3	5	5	0
1237E	LDR	3	1	1	1,7638	0	10	1,2	0,5	4	5	5	0
1271E	Placa de circuito elétrico universal (<i>Breadboard</i>)	4	1	1	2,3570	1	10	1,2	0,5	4	5	5	0
12133E	Arduino	4	1	1	2,8674	0	10	1,2	0,5	4	5	5	0

Informação

O utilizador deverá, a partir de uma análise prévia, preencher os campos que estão a cinzento, para cada artigo.
Uma vez inseridos os valores, deverá seguir para a folha *e-Kanban*, para apurar os resultados.

Informação

Pm - Procura média mensal do artigo [unidades]
Fr - Frequência de reposição [x/mês]
Zp - Frequência relativa da presença de um item em inventário quando necessário
Dp - Desvio padrão da procura mensal
SS - Stock de segurança [unidades]
L - Tempo entre encomenda e entrega [dias]
Qee - Quantidade ótima de encomenda [unidades]
Cp - Custo de pedido de encomenda [em euros]
Ch - Custo mensal de manutenção de stock [em euros]
Q - Quantidade de necessária de itens para aulas laboratoriais de cada semestre [unidades]
S - Stock existente [unidades]
Qp - Quantidade pendente [unidades]

Figura 19. Folha "Dados" (Elaboração própria)

Os dados da coluna correspondente ao parâmetro Q devem ser selecionados da folha “Planeamento Semestral” consoante o semestre para o qual se pretende fazer a gestão de *stocks*. Além disso, os restantes parâmetros dos campos preenchidos a cinzento devem ser apurados antecipadamente.

Os dados constantes das Figura 17 e 19 transitam para a folha “*e-Kanban*”, onde surgem os alertas visuais para a gestão de *stocks* no início do semestre, tendo como objetivo garantir a disponibilidade dos materiais necessários para cada aula laboratorial.

Na Figura 20, pode constatar-se que, para o cenário de aplicação proposto, os alertas visuais surgem permitindo a gestão de *stocks*, quer no início, quer ao longo do semestre, aplicando as fórmulas matemáticas descritas no subcapítulo anterior.

Código do artigo	Artigo	Procura	Localização				Início do Semestre		Ao Longo do Semestre			
			Nº do Armário	Nº da Prateleira	Nº da Fila	Nº da Posição da Fila	S	Qe	Smax	Smin	S	Qe
1291.2E	Transistor TIP120	Alta	1	2	9	1	10	0	13	7	7	0
1236.1E	Resistência 2,2 K Ω (Transistor)	Baixa	1	2	3	6	2	3	16	14	1	15
1236.2E	Resistência 22 K Ω (Pull-Down)	Baixa	1	2	3	6	3	2	12	7	8	6
1236.3E	Resistência 220 Ω (Divisor de tensão)	Baixa	1	2	3	6	1	4	12	11	1	11
12101E	Diodo IN4007	Baixa	1	2	10	1	0	6	12	8	5	7
1281E	Interruptor	Baixa	1	2	8	1	2	3	11	10	5	6
1237E	LDR	Baixa	1	2	3	7	3	3	13	11	5	8
1271E	Placa de circuito elétrico universal (Breadboard)	Alta	1	2	7	1	5	0	18	15	5	0
12133E	Arduino	Alta	1	2	13	3	3	2	20	17	5	0

Informação

S - Stock existente [unidades]
Smax - Stock máximo [unidades]
Smin - Stock mínimo [unidades]
Qe - Quantidade a encomendar [unidades]

Stock Existente (S)

Célula vermelha: a quantidade de stock existente é demasiado baixa. Dever-se-á fazer uma encomenda.

Célula verde: a quantidade de stock existente não traduz uma necessidade de encomenda.

Figura 20. Folha "e-Kanban" (Elaboração própria)

Sempre que é necessário efetuar uma encomenda a célula com o *stock* existente fica preenchida a vermelho. Caso contrário, a célula aparece preenchida a verde.

O MAD dá também indicação sobre a quantidade a encomendar no início do semestre e ao longo do mesmo, consoante o nível de procura de cada artigo. Além disso, os utilizadores podem recorrer a esta folha do modelo para localizarem cada artigo.

6.3. Discussão de Resultados

Comparando os dados da Tabela 5 com os da Tabela 6, pode verificar-se que, depois de serem aplicadas as ferramentas 5S, Gestão Visual e SMED, o tempo médio de preparação, isto é, o tempo envolvido na procura dos materiais necessários à execução da medição de temperatura foi reduzido em 93%, como se evidencia na Tabela 7. Além disso, enquanto antes da aplicação das ferramentas *Lean*, a procura dos materiais representava 79% da duração total da atividade, depois da aplicação das ferramentas *Lean*, passou a representar 33%.

Tabela 7. Reduções obtidas no tempo médio de execução da medição de temperatura (Elaboração própria)

Etapas	Tempo Médio de Execução (minutos)		Redução (%)
	Inicial	Final	
1 - Procurar os Materiais	09:41,9	00:39,5	93%
2 - Montar a Placa	01:12,1	00:49,5	31%
3 - Ligar a Montagem ao Computador	00:11,0	00:05,1	54%
4 - Executar Programa e Obter Resultado Final	01:08,1	00:26,5	61%
Tempo Total	12:13,1	02:00,6	84%

Concordantemente, estudos realizados em ambientes laboratoriais universitários que utilizaram a metodologia 5S reportaram reduções no tempo de preparação.

Jiménez *et al.* (2015) obtiveram uma redução de 30% no tempo de preparação de atividades práticas, para além de terem obtido uma redução nos movimentos e transferência de desperdícios. Além disso, associado à implementação de 5S, os autores reportaram uma redução de 25% na área do espaço de trabalho.

Sremcev *et al.* (2018) referiram que o tempo de preparação foi reduzido em 4 vezes (de 32 minutos para apenas 8) e o tempo de ensino foi reduzido em 20% (de 85 minutos para 68). O estudo revelou ainda, através de um inquérito de satisfação, que 95% dos alunos concordam que o ambiente de trabalho melhorou após a implementação do 5S.

No estudo de Gutierrez *et al.* (2020) é referido que a implementação de 5S contribuiu para a redução de horas de trabalho, para além de ter contribuído para a redução de riscos e custos.

No estudo efetuado foi mensurado apenas o impacto do 5S na redução do tempo de preparação de uma atividade laboratorial, tendo sido obtida uma redução significativa, comparativamente aos 3 estudos referidos. Além disso, importa salientar que se constatou que, após a implementação das ferramentas *Lean*, o tempo médio de execução das atividades subsequentes à procura de materiais foi também reduzido, de acordo com os dados da Tabela 7.

Relativamente à aplicação da filosofia *Lean* para a elaboração de um MAD com o objetivo de proporcionar uma gestão mais eficiente de *stocks*, foi obtido um sistema *e-Kanban*, que sinaliza a necessidade de efetuar uma encomenda e indica a quantidade a encomendar, com o intuito de evitar ruturas de *stock* e, simultaneamente, evitar custos e um aproveitamento ineficiente do espaço de trabalho, que o excesso de *stock* acarreta.

Além disso, o controlo de *stocks* proposto para o início de semestre, tendo em conta cada protocolo laboratorial e as quantidades necessárias de materiais, visa assegurar a disponibilidade de materiais necessários à lecionação. O apuramento das necessidades de materiais de forma antecipada tem por base o sistema *pull*, correspondente a um dos princípios basilares da filosofia *Lean*.

Este sistema considera as quantidades necessárias tendo em conta duas possíveis situações: os materiais podem ser utilizados em mais do que uma atividade laboratorial, ou podem ser utilizados apenas uma vez.

Além disso, visto que é frequente alguns materiais se deteriorarem, ou ficarem de alguma forma inutilizados, é adicionada à quantidade a encomendar a percentagem de itens que se prevê ficarem inutilizados.

Recorrendo a fórmulas matemáticas distintas, a gestão de *stocks* proposta ao longo do semestre leva em consideração o nível de procura e tem o intuito de garantir a disponibilidade de materiais, não só necessários às atividades de lecionação, mas também de investigação, de acordo com a procura prevista.

Capítulo 7

Considerações Finais

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões e limitações do estudo de caso, assim como propostas de trabalhos futuros.

7.1. Conclusões

A implementação proposta de ferramentas *Lean* permitiu alcançar os objetivos do projeto, que consistiam fundamentalmente em melhorar a organização do espaço do LAR para a redução do tempo de preparação de atividades práticas e propor um MAD com o potencial de melhorar a gestão de *stocks*. Obteve-se uma redução de 93% do tempo médio de preparação de uma atividade laboratorial e uma redução no tempo médio total de execução de 84%.

À semelhança da implementação de *Lean* noutros laboratórios de ensino, para que os resultados benéficos obtidos neste projeto ao nível da organização do espaço se mantenham, é imperativo o compromisso e envolvimento das diferentes partes envolvidas, incluindo estudantes, docentes, investigadores e pessoal administrativo e de serviços (Gutierrez *et al.*, 2020).

Adicionalmente, foi possível demonstrar que o MAD calcula corretamente a quantidade a encomendar para os diversos artigos utilizados, de acordo com as fórmulas matemáticas selecionadas. O MAD desenvolvido visa a minimização de situações de escassez de materiais necessários às atividades de ensino e investigação, permitindo determinar o momento e a quantidade de encomenda ideais, para que ruturas de *stock* sejam evitadas e, simultaneamente, se evitem custos associados a níveis de *stock* excessivos.

O MAD subdivide-se em dois sistemas: um deles deve ser utilizado no início do semestre e aplicado a todos os itens necessários à realização das atividades práticas das aulas laboratoriais ao longo do semestre. Este sistema constitui uma mais-valia no ambiente laboratorial de ensino, uma vez que assegura antecipadamente a presença dos itens necessários às atividades de ensino.

A parte do sistema a ser utilizada ao longo do semestre define, para cada artigo, níveis de *stock* máximo e mínimo, os quais recorrem ao *stock* de segurança apropriado para cada mês. O *stock* de segurança, por sua vez, é apurado de acordo com as variações da procura verificadas mensalmente. Outro aspeto relevante considerado no sistema é a determinação da quantidade e do momento de encomenda, em função do nível de procura de cada artigo. Assim, o MAD tem o potencial de garantir a disponibilidade dos itens necessários a atividades, não só de ensino, mas também de investigação.

Relativamente aos benefícios associados ao modelo proposto, importa ainda destacar a facilidade com que pode ser usado em diferentes organizações. Apesar do modelo ter sido concebido para laboratórios de ensino, as fórmulas matemáticas utilizadas para a gestão de *stocks* ao longo do semestre podem ser replicadas para a gestão de *stocks* em diversas organizações.

Um aspeto positivo adicional do MAD é o facto de poder ser facilmente aplicado, visto que utiliza uma ferramenta comumente utilizada em diversas organizações para o tratamento de dados (*software Microsoft Excel*).

7.2. Limitações ao Estudo

Uma das limitações do presente estudo relaciona-se com a ausência de dados reais, não sendo possível avaliar a eficácia e eficiência do modelo proposto, nem quantificar o seu impacto real na diminuição da frequente escassez de materiais, na diminuição de custos e no aumento da qualidade do serviço de ensino.

Além disso, importa referir que nem todos os artigos categorizados e organizados nos armários do LAR constam na lista do Anexo I. Dada a grande diversidade de materiais existente e as limitações de tempo a que o desenvolvimento da dissertação esteve sujeito, foram alistados preferencialmente os artigos que chegaram ao LAR entre 6 de abril e 6 de maio.

Outra limitação relevante do MAD elaborado diz respeito à eficiência do modelo depender da atualização frequente dos valores de *stock* existente para cada artigo.

7.3. Propostas de Trabalhos Futuros

No que concerne a propostas de trabalhos futuros de pesquisa, salientam-se os seguintes tópicos:

- Avaliação do impacto do 5S na redução de materiais danificados, dado que, em ambientes onde são utilizados componentes frágeis, existem custos relevantes associados;
- Avaliação ao longo do tempo da eficácia e eficiência da implementação do 5S no LAR;
- Aplicação do MAD proposto num contexto real e avaliação do seu impacto ao nível da redução de ruturas de *stock* e de custos;
- Identificação automática de materiais, que permita um registo atualizado de forma permanente do *stock* existente.

Bibliografia

Abbad, L. El, Elrhanimi, S. and Manti, S. El (2020) 'A literature review on the evolution of lean manufacturing', *Journal of System and Management Sciences*, 10(4), pp. 13–30. doi: 10.33168/JSMS.2020.0402.

Agostinho, A., Guilherme, H., Marcelino, S., Lima, T. and Gaspar, P. (2021) 'Decision Support System for the Application of Lean Healthcare in Stock Management in Health Facilities', *2021 International Conference on Decision Aid Sciences and Application, DASA 2021*, pp. 886–891. doi: 10.1109/DASA53625.2021.9682338.

Akanbi, O. A., Oyedolapo, O. and Steven, G. J. (2019) 'Lean Principles in Construction', *Sustainable Construction Technologies. Elsevier Inc.* doi: 10.1016/b978-0-12-811749-1.00010-9.

Alamanos, A., Rolston, A. and Papaioannou, G. (2021) 'Development of a decision support system for sustainable environmental management and stakeholder engagement', *Hydrology*, 8(1), pp. 1–20. doi: 10.3390/HYDROLOGY8010040.

Alefari, M., Salonitis, K. and Xu, Y. (2017) 'The Role of Leadership in Implementing Lean Manufacturing', *Procedia CIRP*, 63(June), pp. 756–761. doi: 10.1016/j.procir.2017.03.169.

Allahverdi, A. and Soroush, H. M. (2008) 'The significance of reducing setup times/setup costs', *European Journal of Operational Research*, 187(3), pp. 978–984. doi: 10.1016/j.ejor.2006.09.010.

Beutel, A. L. and Minner, S. (2012) 'Safety stock planning under causal demand forecasting', *International Journal of Production Economics*, 140(2), pp. 637–645. doi: 10.1016/j.ijpe.2011.04.017.

Bhattacharjee, A. (2012) 'Social Science Research: principles, methods, and practices', *Book 3*. Disponível em: http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=oa_textbooks.

Castro, C., Pereira, T., Sá, J.C. and Santos, G. (2020) 'Logistics reorganization and management of the ambulatory pharmacy of a local health unit in Portugal', *Evaluation and Program Planning*, 80(July 2019). doi: 10.1016/j.evalprogplan.2020.101801.

Chen, Y., Pekny, J. F. and Reklaitis, G. V. (2013) 'Integrated planning and optimization of clinical trial supply chain system with risk pooling', *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52(1), pp. 152–165. doi: 10.1021/ie300823b.

Cherqaoui, F. E., Elhaq, S. L. and Lri, M. C. (2018) 'Implantation of the approach lean: Case of quality control laboratory of a pharmaceutical company', *Proceedings - GOL 2018: 4th IEEE International Conference on Logistics Operations Management*, pp. 1–8. doi: 10.1109/GOL.2018.8378107.

Chibaira, B. (2015). 'Lean pedagogy: Using Lean Thinking to Improve Student Results and Optimise Classroom Costs'. 1st ed. BookBaby

Comunidade Lean Thinking. (2018) 'Os oito desperdícios'. [Online] Disponível em: <https://www.cltservices.net/publicacoes/free-booklet-8-desperdicios> (Acedido: 02 de maio de 2022).

Conceição, J., Souza, J., Gimenez-Rossini, E., Risso, A. and Beluco, A. (2021) 'Implementation of inventory management in a footwear industry', *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), pp. 360–375. doi: 10.3926/jiem.3223.

Coskun, A., Sertezler, M., Altinayak, R. and Unsal, I. (2017) 'Evaluation of the performance of INDEXOR® in the archive unit of a clinical laboratory: A step to Lean laboratory', *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 55(3), pp. e62–e64. doi: 10.1515/cclm-2016-0427.

Cruz-machado, V. and Simas, A. (2018) 'Proceedings of the Eleventh International Conference on Management Science and Engineering Management', *Proceedings of the Eleventh International Conference on Management Science and Engineering Management*. doi: 10.1007/978-3-319-59280-0.

D'Andreamatteo, A., Ianni, L., Lega, F. and Sargiacomo, M. (2015) 'Lean in healthcare: A comprehensive review', *Health Policy*, 119(9), pp. 1197–1209. doi: 10.1016/j.healthpol.2015.02.002.

Deb, D., Dey, R. and Balas, V. E. (2019) 'Engineering Research Methodology. A Practical Insight for Researchers', *Intelligent Systems Reference Library*.

Dilanthi, M. G. S. (2015) 'Conceptual Evolution of Lean Manufacturing', *International Journal of Economics, Commerce and Management United Kingdom*, III(10), pp. 574–585.

Douglas, J. A., Antony, J. and Douglas, A. (2015) 'Waste identification and elimination in HEIs: the role of Lean thinking', *International Journal of Quality and Reliability Management*, 32(9), pp. 970–981. doi: 10.1108/IJQRM-10-2014-0160.

Dundas, N. E., Ziadie, M. S., Revell, P. A., Brock, E., Mitui, M., Leos, N. K. and Rogers, B. B. (2011)

'A lean laboratory: Operational simplicity and cost effectiveness of the Luminex xTAG™ respiratory viral panel', *Journal of Molecular Diagnostics*, 13(2), pp. 175–179. doi: 10.1016/j.jmoldx.2010.09.003.

Fichou, D. and Morlock, G. E. (2018) 'Office Chromatography: Miniaturized All-in-One Open-Source System for Planar Chromatography', *Analytical Chemistry*, 90(21), pp. 12647–12654. doi: 10.1021/acs.analchem.8b02866.

Freire, A. (1997). 'Estratégia: sucesso em Portugal'. *Lisboa/São Paulo: Editorial Verbo*

Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Chaikittisilp, S. and Tan, K. H. (2018) 'The effect of lean methods and tools on the environmental performance of manufacturing organisations', *International Journal of Production Economics*, 200(March), pp. 170–180. doi: 10.1016/j.ijpe.2018.03.030.

Gil-Vilda, F., Yagüe-Fabra, J. A. and Sunyer, A. (2021) 'From lean production to lean 4.0: A systematic literature review with a historical perspective', *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(21). doi: 10.3390/app112110318.

Graban, M. and Padgett, S. (2008) 'Lean laboratories: Competing with methods from Toyota', *Laboratory Medicine*, 39(11), pp. 645–648. doi: 10.1309/LMXoLEMR7RoUSKUM.

Gupta, S., Kapil, S. and Sharma, M. (2018) 'Improvement of laboratory turnaround time using lean methodology', *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 31(4), pp. 295–308. doi: 10.1108/IJHCQA-08-2016-0116.

Gutierrez, J., Santaolalla, A., Tercjak, A., Rojo, N. Encinas, D., Gomez-de-Balugera, Z. and Gallastegu, G. (2020) 'Creating a green chemistry lab: Towards sustainable resource management and responsible purchasing', *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), pp. 1–15. doi: 10.3390/su12218934.

Hachmoud, S., Meddaoui, A. and Allali, H. (2017) 'A new method to measure efficiency in learning by doing environment: A case study of assembly line simulation', *International Journal of Learning Technology*, 12(4), pp. 315–325. doi: 10.1504/IJLT.2017.089909.

Hallam, C. R. A. and Contreras, C. (2018) 'Lean healthcare: scale, scope and sustainability', *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 31(7), pp. 684–696. doi: 10.1108/IJHCQA-02-2017-0023.

Halwachs-Baumann, G. (2010) 'Concepts for lean laboratory organization', *Journal of Medical Biochemistry*, 29(4), pp. 330–338. doi: 10.2478/v10011-010-0036-5.

Herasuta, M. (2007) 'A "lean" laboratory', *Laboratory Medicine*, 38(3), pp. 143–144. doi: 10.1309/KPVW7AJRQWAA45Wo.

Holweg, M. (2007) 'The genealogy of lean production', *Journal of Operations Management*, 25(2), pp. 420–437. doi: 10.1016/j.jom.2006.04.001.

Hong, C. (2017) 'Implementing Lean Six Sigma to achieve inventory control in supply chain management', *AIP Conference Proceedings*, 1902. doi: 10.1063/1.5010654.

Ibrahim, I., Sultan, M., Yassine, O., Zaki, A., Elamir, H. and Guirguis, W. (2022) 'Using Lean Six Sigma to improve timeliness of clinical laboratory test results in a university hospital in Egypt', *International Journal of Lean Six Sigma*. doi: 10.1108/ijlss-08-2021-0138.

Indriyanti, A. D., Prehanto, D. R., Prisma, I. and Nuryana, I. (2021) 'The web-based estimation of motorcycles sales using linear regression method', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(5), p. 052115. doi: 10.1088/1757-899x/1098/5/052115.

Isack, H. D., Mutingi, M., Hileni, H., Vashishth, A. and Chakraborty, A. (2018) 'Exploring the adoption of Lean principles in medical laboratory industry', *International Journal of Lean Six Sigma*, 9(1), pp. 133–155. doi: 10.1108/ijlss-02-2017-0017.

Jasti, N. V. K., Kota, S. and Venkataraman, P. B. (2021) 'Development of a lean manufacturing simulation laboratory for continuing education students', *Journal of Adult and Continuing Education*, 27(2), pp. 292–323. doi: 10.1177/1477971420962519.

Jiang, W., Sousa, P., Moreira, M. and Amaro, G. (2021) 'Lean direction in literature: a bibliometric approach', *Production and Manufacturing Research*, 9(1), pp. 241–263. doi: 10.1080/21693277.2021.1978008.

Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, M. and Espinosa, M. (2015) '5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school', *Safety Science*, 78, pp. 163–172. doi: 10.1016/j.ssci.2015.04.022.

Junior, R. G. P., Inácio, R. H., Silva, I. B. Hassui, A. and Barbosa, G. F. (2022) 'A novel framework for single-minute exchange of die (SMED) assisted by lean tools', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(9–10), pp. 6469–6487. doi: 10.1007/s00170-021-08534-w.

Jurado-Muñoz, N. Fernandez-Paredes, I., Quiroz-Flores, J. and Cardenas-Rengifo, L. (2021) 'Lean Inventory Management Model to Reduce Defective Products in Peruvian Baking SMEs', *Proceedings - 2021 10th International Conference on Industrial Technology and Management, ICITM 2021*, pp. 46–50. doi: 10.1109/ICITM52822.2021.00016.

Kang, P. S. and Manyonge, L. M. (2014) 'Exploration of Lean Principals in Higher Educational Institutes – Based on Degree of Implementation and Indigence', *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(February), pp. 831–838.

Karam, A. A., Liviu, M., Cristina, V. and Radu, H. (2018) 'The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project', *Procedia Manufacturing*, 22, pp. 886–892. doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.125.

Katayama, H. (2017) 'Legend and Future Horizon of Lean Concept and Technology', *Procedia Manufacturing*, 11(June), pp. 1093–1101. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.227.

Keen, P. (1980). 'Decision support systems: a research perspective'. *Cambridge, Massachusetts: Center for Information Systems Research, Alfred P. Sloan School of Management*.

Knowles, S. and Barnes, I. (2013) 'Lean laboratories : Laboratory medicine needs to learn from other industries how to deliver more for less', *Journal of Clinical Pathology*, 66(8), pp. 635–637. doi: 10.1136/jclinpath-2013-201624.

Krafick, F. J. (1988) 'Triumph of the Lean Production System', *Sloan Management Review*, 30(1), pp. 41–52.

Krishnaiyer, K., Chen, F. F. and Bouzary, H. (2018) 'Cloud Kanban Framework for Service Operations Management', *Procedia Manufacturing*, 17, pp. 531–538. doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.093.

Labuhn, J., Almeter, P., McLaughlin, C. Fields, P. and Turner, B. (2017) 'Supply chain optimization at an academic medical center', *American Journal of Health-System Pharmacy*, 74(15), pp. 1184–1190. doi: 10.2146/ajhp160774.

Lean Enterprise. (2022a) 'Toyota Production System.' [Online] Disponível em: <https://www.lean.org/lexicon-terms/toyota-production-system/> (Acedido: 30 de abril de 2022).

Lean Enterprise. (2022b) 'Gemba'. [Online] Disponível em: <https://www.lean.org/lexicon-terms/gemba/> (Acedido: 30 de abril de 2022).

Lean Enterprise. (2022c) 'Heijunka'. [Online] Disponível em: <https://www.lean.org/lexicon-terms/heijunka/> (Acedido: 30 de abril de 2022).

Lean Enterprise. (2022d) 'Just-in-Time Production'. [Online] Disponível em: <https://www.lean.org/lexicon-terms/just-in-time-production/> (Acedido: 30 de abril de 2022).

Lean Enterprise. (2022e) 'Total Productive Maintenance'. [Online] Disponível em: <https://www.lean.org/lexicon-terms/total-productive-maintenance/> (Acedido: 3 de maio de 2022).

Lean Production. (2022a) 'Top 25 Lean Tools'. [Online] Disponível em: <https://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools/> (Acedido: 22 de abril de 2022).

Lean Production. (2022b) 'Essence of Lean'. [Online] Disponível em: <https://www.leanproduction.com/essence-of-lean/> (Acedido: 22 de abril de 2022).

Lean Production. (2022c) 'Theory of Constraints'. [Online] Disponível em: <https://www.leanproduction.com/theory-of-constraints/> (Acedido: 22 de abril de 2022).

Liker, J. (2004) 'The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer'. *New York: McGraw-Hill*

Lokesh, K., Samanta, A. K. and Varaprasad, G. (2020) 'Reducing the turnaround time of laboratory samples by using Lean Six Sigma methodology in a tertiary-care hospital in India', *2020 International Conference on System, Computation, Automation and Networking, ICSCAN 2020*. doi: 10.1109/ICSCAN49426.2020.9262385.

Macdonald, S. and Headlam, N. (2008) 'Research methods handbook: introductory guide to research methods for social research'. *Manchester: Centre for Local Economic Strategies*.

Manjunatha, K. A. and Agarwal, V. (2022) 'Multi-Band Heterogeneous Wireless Network Architecture for Industrial Automation: A Techno-Economic Analysis', *Wireless Personal Communications*, 123(4), pp. 3555–3573. doi: 10.1007/s11277-021-09303-4.

Marodin, G. A., Tortorella, G. L., Frank, A. G. and Filho, M. G. (2017) 'The moderating effect of Lean supply chain management on the impact of Lean shop floor practices on quality and inventory', *Supply Chain Management*, 22(6), pp. 473–485. doi: 10.1108/SCM-10-2016-0350.

Mazzocato, P., Savage, C., Brommerls, M., Aronsson, H. and Thor, J. (2010) 'Lean thinking in healthcare: A realist review of the literature', *Quality and Safety in Health Care*, 19(5), pp. 376–382. doi: 10.1136/qshc.2009.037986.

McIntosh, R., Owen, G., Culley, S. and Mileham, T. (2007) 'Changeover improvement: Reinterpreting Shingo's "SMED" methodology', *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(1), pp. 98–111. doi: 10.1109/TEM.2006.889070.

Nagarur, N. N., Hu, T. S. and Baid, N. K. (1994) 'A Computer-based Inventory Management System

for Spare Parts', *Industrial Management & Data Systems*, 94(9), pp. 22–28. doi: 10.1108/02635579410072135.

Ohno T. (1988). 'Toyota Production System. Beyond Large-Scale Production'. *Productivity Press, New York*.

Oliveira, E. and Ferreira, P. (2014). Métodos de Investigação – da Interrogação à Descoberta Científica. *Porto: Vida Económica-Editorial, SA*.

Palange, A. and Dhatrak, P. (2021) 'Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing', *Materials Today: Proceedings*, 46, pp. 729–736. doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.193.

Parkes, A. (2015) 'Lean Management Genesis', *Management*, 19(2), pp. 106–121. doi: 10.1515/manment-2015-0017.

Pekarcikova, M., Trebuna, P., Kliment, M., Mizerak, M. and Kral, S. (2021) 'Simulation testing of the e-kanban to increase the efficiency of logistics processes', *International Journal of Simulation Modelling*, 20(1), pp. 134–145. doi: 10.2507/IJSIMM20-1-551.

Pinto, J. P. (2014). 'Pensamento Lean: A filosofia das organizações vencedoras'. 6th ed. *Lidel - Edições Técnicas Lda*.

Powell, D. J. (2018) 'Kanban for Lean Production in High Mix, Low Volume Environments', *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp. 140–143. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.248.

Protzman, C., G. Mayzell, and J. Kerpchar. (2010). 'Leveraging Lean in Healthcare: Transforming Your Enterprise into a High-Quality Patient Care Delivery System'. 1st ed. *Boca Raton: FL: Productivity Press*

Protzman, C., Whiton, F., Kerpchar, J., Lewandowski, C. R., Stenberg, S. and Grounds, P. (2018) 'The Lean Practitioner's Field Book', *The Lean Practitioner's Field Book*. doi: 10.4324/9781315373843.

Purushothaman, B., Seadon, J. and Moore, D. (2021) 'A relationship between bias, lean tools, and waste for deposit', *International Journal of Lean Six Sigma*, doi: 10.1108/IJLSS-03-2021-0045

Ramezani, A. and Razmeh, A. (2014). 'Kaizen and Kaizen costing'. *Academic Journal of Research in Business & Accounting*, 2(8), 43-52.

Reponen, E., Rundall, T., Shortell, S., Blodgett, J., Juarez, A., Jokela, R., Mäkijärv, M. and Torkki,

P. (2021) 'Benchmarking outcomes on multiple contextual levels in lean healthcare: a systematic review, development of a conceptual framework, and a research agenda', *BMC Health Services Research*, 21(1), pp. 1–18. doi: 10.1186/s12913-021-06160-6.

Roberson, J., Wrenn, A., Poole, J., Jaeger, A. and Eltoum, I. (2013) 'Constructing a modern cytology laboratory: A toolkit for planning and design'. *CytoJournal and design*. 10(3), pp.7. doi: 10.4103/1742-6413.107983

Samuel, D., Found, P. and Williams, S. (2015) 'How Did the Publication of the Book The Machine That Changed The World change management thinking? Exploring 25 years of Lean Literature in Most Empirical Studies on Lean, the Unit of Analysis is the Organisation .', *International Journal of Operations & Production Management*, 35(10), pp. 1386–1407.

Seyedhosseini, S. M. and Ebrahimi-Taleghani, A. (2015) 'A stochastic analysis approach on the cost-time profile for selecting the best future state map', *South African Journal of Industrial Engineering*, 26(1), pp. 267–291. doi: 10.7166/26-1-644.

Sgroi, A. (2014) 'Using the Principles of Lean to Create and Deliver Innovation to Customers The Innovative Lean Enterprise For Business and Technical Professionals'. 1st ed. *Productivity Press*.

Shah, R. and Ward, P. T. (2007) 'Defining and developing measures of lean production', *Journal of Operations Management*, 25(4), pp. 785–805. doi: 10.1016/j.jom.2007.01.019.

Sharma, G. V. S. S., Prasad, C. L. V. R. S. V. and Srinivasa Rao, M. (2021) 'Industrial engineering into healthcare—A comprehensive review', *International Journal of Healthcare Management*, 14(4), pp. 1288–1302. doi: 10.1080/20479700.2020.1757874.

Shingo, S. (1985). 'A Revolution in Manufacturing: The SMED System'. Portland, Oregon: Productivity Press.

Shingo, S. (1989). 'A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint'. *Cambridge, MA: Productivity Press*.

Siegel, S. C., Kramer, S. B. and Deranek, K. M. (2019) 'Lean Methods Applied to CAD/CAM Pedagogy in the Dental Simulation Laboratory', *Journal of Dental Education*, 83(9), pp. 1081–1091. doi: 10.21815/jde.019.100.

Silva Delgado, P. E., Kapanen, A. and Dressler, S. (2020) 'Effective Teaching of Lean Management To Industrial Engineering Students in Germany', *INTED2020 Proceedings*, 1(March), pp. 3343–3351. doi: 10.21125/inted.2020.0958.

Silva, I. B. and Filho, M. G. (2019) 'Single-minute exchange of die (SMED): a state-of-the-art literature review', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9–12), pp. 4289–4307.

Sinha, N. and Matharu, M. (2019) 'A comprehensive insight into lean management: Literature review and trends', *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(2), pp. 302–317. doi: 10.3926/jiem.2885.

Sly, D. (2018) 'Internet Based eKanban/eKitting Involving Suppliers', *Procedia Manufacturing*, 17, pp. 484–490. doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.073.

Sremcevic, N., Lazarevic, M., Krainovic, B., Mandic, J. and Medojevic, M. (2018) 'Improving teaching and learning process by applying Lean thinking', *Procedia Manufacturing*, 17, pp. 595–602. doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.101.

Sugai, M., McIntosh, R. I. and Novaski, O. (2007) 'Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso', *Gestão & Produção*, 14(2), pp. 323–335. doi: 10.1590/s0104-530x2007000200010.

Tasdemir, C. and Gazo, R. (2018) 'A systematic literature review for better understanding of lean driven sustainability', *Sustainability (Switzerland)*, 10(7). doi: 10.3390/su10072544.

Thürer, M., Tomašević, I. and Stevenson, M. (2017) 'On the meaning of “Waste”: review and definition', *Production Planning and Control*, 28(3), pp. 244–255. doi: 10.1080/09537287.2016.1264640.

Trapero, J. R., Cardós, M. and Kourentzes, N. (2019) 'Empirical safety stock estimation based on kernel and GARCH models', *Omega (United Kingdom)*, 84, pp. 199–211. doi: 10.1016/j.omega.2018.05.004.

UBI. (2022a) 'História e Símbolos'. [Online] Disponível em: <https://www.ubi.pt/Pagina/Historia> [Acedido: 4 de dezembro de 2021].

UBI. (2022b) 'Faculdades'. [Online] Disponível em: <https://www.ubi.pt/Pagina/Faculdades> [Acedido: 4 de dezembro de 2021].

UBI. (2022c) 'Departamento de Engenharia Eletromecânica'. [Online] Disponível em: [https://www.ubi.pt/Entidade/Departamento de Engenharia Electromecanica](https://www.ubi.pt/Entidade/Departamento_de_Engenharia_Electromecanica) [Acedido: 2 de maio de 2021].

Viera, R. J., Sardoueinassab, Z. and Lee, J. (2019) 'Improving the efficiency of energy assessments

with application of lean tools—a case study’, *Energy Efficiency*, 12(7), pp. 1717–1728. doi: 10.1007/s12053-019-09827-6.

Womack, J. and Jones, D. (2003) ‘Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York: Free Press, 2003.’, p. 379.

Womack, J., Jones, D. and Roos, D. (1990) ‘The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production’.

Xu, X., Qi, Y. and Hua, Z. (2010) ‘Forecasting demand of commodities after natural disasters’, *Expert Systems with Applications*, 37(6), pp. 4313–4317. doi: 10.1016/j.eswa.2009.11.069.

Yerian, L. M., Seestadt, J. A., Gomez, E. E. and Marchant, K. K. (2012) ‘A collaborative approach to lean laboratory workstation design reduces wasted technologist travel’, *American Journal of Clinical Pathology*, 138(2), pp. 273–280. doi: 10.1309/AJCPEoPI2ENWYWMU.

Yik, L. K. and Chin, J. F. (2019) ‘Application of 5S and Visual Management to Improve Shipment Preparation of Finished Goods’, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 530(1). doi: 10.1088/1757-899X/530/1/012039.

Yuksel, H. (2018) ‘An Application of Lean Thinking Principles in a Laboratory of a Hospital’, *Iioab Journal*, 9(6), pp. 21–27.

Zarghami, M. and Szidarovszky, F. (2011) ‘Introduction to Multicriteria Decision Analysis, Multicriteria Analysis’. doi: 10.1007/978-3-642-17937-2_1.

Anexo I

Nº	Descrição do Artigo	Nº do fabricante	Tamanho	Categoria	Procura
1	Conversor ajustável <i>Step-up Step-down</i>		M	Eletrónica	Alta
2	Cartão SanDisk Extreme Pro SDXC 128GB		P	Eletrónica	Alta
3	Módulo <i>Stepper Motor Control</i>	L298N	P	Eletrónica	Alta
4	Transistor TIP120		P	Eletrónica	Alta
5	Placa de circuito elétrico universal (<i>Breadboard</i>)		G	Eletrónica	Alta
6	Controlador de velocidade (ESC) 20 A		P	Eletrónica	Alta
7	Conjunto de cristais de 6 a 40 MHz		P	Eletrónica	Baixa
8	Potenciómetro		P	Eletrónica	Alta
9	Controlador omnidirecional - JoyC (W/O M5StickC)		G	Eletrónica	Alta
10	Placas de circuito		G	Eletrónica	Alta
11	Reguladores de tensão (<i>Low Dropout Positive 1,5 A</i>)	LM1086 CT-3.3	P	Eletrónica	Alta
12	CI's de chave analógica 2.5 Ohm	MAX4662CPE+	P	Eletrónica	Alta
13	Transistores bipolares de junção	CEN2N5087	P	Eletrónica	Baixa
14	CI's de Chave Multiplexadora	MAX4617CPE+	P	Eletrónica	Baixa
15	Amplificadores operacionais	LM6134BIN	P	Eletrónica	Baixa
16	Reguladores de tensão	LM1085IT-5.0	P	Eletrónica	Baixa
17	Reguladores de tensão linear	BA60BCo 307 H54	P	Eletrónica	Baixa
18	Reguladores de tensão	LM340T5 7805 P+	P	Eletrónica	Baixa
19	Reguladores de tensão linear	CHN 2 L7805C-V	P	Eletrónica	Baixa
20	Bobine de Inductância 10 uH1685mA		P	Eletrónica	Baixa
21	Transistores MOSFET e IGBT - Kemo S106		P	Eletrónica	Alta
22	Bobine de Inductância 15 uH 4,6A 20m		P	Eletrónica	Baixa
23	Díodo Zener 3,3 - 30V		P	Eletrónica	Baixa
24	Bobine de Inductância 10mH 1A 260mR 10%		P	Eletrónica	Baixa
25	Bobine de Inductância THT 1 uH 7,5A		P	Eletrónica	Baixa
26	Bobine de Inductância 470 uH 320mA		P	Eletrónica	Baixa
27	Ponte Retificadora 15 A 600V - KBU1506G		P	Eletrónica	Alta
28	Relé conetor para placas de circuito	HKE HRM2H-S-DC12V	P	Eletrónica	Baixa
29	Relé conetor para placas de circuito	HKE HRM1-S-DC5V	P	Eletrónica	Baixa
30	Relé Eletromagnético 3V DC	LMR2-3D	P	Eletrónica	Alta
31	Relé DC5V	HKE HRS1H-S	P	Eletrónica	Baixa
32	Relé 5VDC 1A DPDT (8 pinos) - Rayex RS-5	5VDC 1A DPDT	P	Eletrónica	Baixa
33	Transistor TIP125	TIP125	P	Eletrónica	Alta
34	Transistor F9540N	F9540N	P	Eletrónica	Alta

35	Transistor P20NMBOFD	P20NMbOFD	P	Eletrônica	Alta
36	Semicondutor BA00AST	BA00AST	P	Eletrônica	Baixa
37	Microinterruptor/ <i>switch</i> de Alavanca - Kit		P	Eletrônica	Baixa
38	Micro interruptor/ <i>switch</i> mecânico 10A com alavanca de rolo longo		P	Eletrônica	Baixa
39	Módulo XL4016 conversor de tensão	XL4016 DC-DC	P	Eletrônica	Alta
40	Módulo de placa de circuito	LM317	P	Eletrônica	Alta
41	Regulador de Tensão 4A <i>Step Up</i>	XL6009E1 DC-DC	P	Eletrônica	Alta
42	Placas e kits de desenvolvimento - ARM		G	Eletrônica	Alta
43	Amplificadores de precisão	MAX4168ESD+T	P	Eletrônica	Alta
44	Optoacopladores de saída transistorizados	4N26	P	Eletrônica	Alta
45	Amplificadores operacionais - Amp Op 10Mhz,350Ua	LM6134BIN/NOPB	P	Eletrônica	Alta
46	Amplificadores operacionais - Amp Op 12V 7MHz	OPA2743PA	P	Eletrônica	Alta
47	Indutores fixos 0805 68uH Shld 10% 240mA 4.42Ohms	0805PS-683KLB	P	Eletrônica	Alta
48	CIs de Chave Analógica	TS12A44515DR	P	Eletrônica	Baixa
49	Amplificadores operacionais - 1.8V	LMV981MG/NOPB	P	Eletrônica	Baixa
50	Condensadores de cerâmica multicamada MLCC - SMD/SMT 50V	GRM21BR71H184KA01L	P	Eletrônica	Baixa
51	Condensadores de cerâmica multicamada MLCC - SMD/SMT 25 V	C1206C475J3RACTU	P	Eletrônica	Baixa
52	Sensores de temperatura de montagem de placa	AD22103KRZ	P	Sensores	Baixa
53	CIs de Chave Analógica	MAX4066ACPD+	P	Eletrônica	Alta
54	Condensadores de cerâmica multicamada 0.1uF 0805 10% 50V MLCC	8,85012E+11	P	Eletrônica	Alta
55	Resistências de Filme Espesso - SMD 0805 11Kohms 1% AEC-Q200	ERJ-6ENF1102V	P	Eletrônica	Baixa
56	Resistências de Filme Espesso - SMD 1watt 20Kohms 1%	CRCW251220KoFKEG	P	Eletrônica	Baixa
57	Indutores fixos SIP	MLF2012C101K	P	Eletrônica	Baixa
58	Condensadores de cerâmica multicamada	12103C334JAT2A	P	Eletrônica	Baixa
59	Resistências de Filme Espesso - SMD 1watt 11Kohms 1%	CRCW251211KoFKEG	P	Eletrônica	Baixa
60	Condensadores de cerâmica multicamada 50V 0.11uF X7R 1206 5%	12065C114JAT2A	P	Eletrônica	Baixa
61	Indutores fixos 91uH 5% 4.3ohm	1537-74J	P	Eletrônica	Baixa
62	Amplificadores de precisão	TLO52CP	P	Eletrônica	Baixa
63	Amplificadores operacionais - Amp Op 12V 7MHz CMOS Rail-2-Rail I/O Quad	OPA4743UA	P	Eletrônica	Baixa
64	Resistências de Filme Espesso - SMD 200 Ohms 1 W 2512 5%	RC2512JK-07200RL	P	Eletrônica	Baixa
65	Resistências de Filme Espesso - SMD 3521 1Ko 1% 2W	4-2176070-9	P	Eletrônica	Baixa
66	Condensadores de cerâmica multicamada 50V 30pF CoG	08055A300JAT2A	P	Eletrônica	Baixa

	o805 5%				
67	Condensadores de cerâmica multicamada 50V 5% 1206	GRM31C5C1H753JA01L	P	Eletrônica	Baixa
68	CIs de Chave Analógica 2.5 ohm	MAX4662CWE+	P	Eletrônica	Baixa
69	Condensadores de cerâmica multicamada 50V 1uF X7R 1210 10%	CC1210KKX7R9BB105	P	Eletrônica	Baixa
70	CIs de Chave Multiplexadora	MAX4617CSE+	P	Eletrônica	Baixa
71	Resistências de Filme Espesso - SMD 100KOhms 1W 200V	3520100KJT	P	Eletrônica	Baixa
72	Resistências de Filme Espesso - SMD 1/8watt 10Kohms 1% 100ppm	CRCW080510KofKEA	P	Eletrônica	Baixa
73	Indutores fixos COMPLETE MFG PN 810-MLF2012E120KT000	MLF2012E120K	P	Eletrônica	Baixa
74	Resistências de Filme Espesso - SMD 20 kOhms 125 mW o805 1%	RC0805FR-0720KL	P	Eletrônica	Baixa
75	Condensadores de cerâmica multicamada 22UF 10V 10% 1206	GRJ31CR71A226KE12L	P	Eletrônica	Baixa
76	Condensadores eletrolíticos de alumínio - SMD 16 Volts 10uF 20% 4x5.3	VE-100M1CTR-0405	P	Eletrônica	Baixa
77	Resistências de Filme Espesso - SMD 100Ohms 1W 200V	3520100RJT	P	Eletrônica	Baixa
78	Resistências de Filme Espesso - SMD 10KOhms 1W 200V	352010KJT	P	Eletrônica	Baixa
79	Resistências de Filme Espesso - SMD 1watts 120Kohms 5%	RK73B3ATTE124J	P	Eletrônica	Baixa
80	Condensadores de cerâmica multicamada 100V 0.1uF X7R 1210 5%	12101C104JAT2A	P	Eletrônica	Baixa
81	Resistências de Filme Espesso - SMD 330 mW 100K ohm 5% ANTI SURGE	AS08J1003ET	P	Eletrônica	Baixa
82	CIs de Chave Multiplexadora	MAX4530CWP+	P	Eletrônica	Baixa
83	Amplificadores de precisão	MAX4168EPD+	P	Eletrônica	Alta
84	CIs de Chave Multiplexadora	MAX4530CPP+	P	Eletrônica	Baixa
85	CIs de Chave Analógica	TS5A3359YZPR	P	Eletrônica	Baixa
86	Reguladores de tensão de LDO REG 1A 6V	BA60BCoFP-E2	P	Eletrônica	Alta
87	Reguladores de tensão de LDO 12V	MAX8881EUT50+T	P	Eletrônica	Alta
88	CIs de Chave Analógica	TS12A4515P	P	Eletrônica	Alta
89	Reguladores de tensão de LDO 12V	MAX8881EUT33+	P	Eletrônica	Alta
90	CIs de Chave Analógica 1-Ohm SP3T	TS5A3359DCUR	P	Eletrônica	Baixa
91	<i>Precision Timers</i> e Produtos de Suporte	NE555P	P	Eletrônica	Alta
92	Interruptor de alavanca 15A/125V AC	KN3(C)-101	P	Eletrônica	Baixa
93	Módulo regulador MCC ESD <i>Protection Device</i>	SRV33-4L-TP	P	Eletrônica	Baixa
94	Regulador	LTC3786IUD#PBF	P	Eletrônica	Alta
95	Resistência de chip	ERJ-6GEYoRo0V	P	Eletrônica	Baixa
96	Emissor Infravermelho (IV) 940nm 1,2V 60mA 1,38mW/sr a 20mA 20° T-1	LTE-4206	P	Eletrônica	Alta

97	Fusíveis de montagem em superfícies 32V FA 1206 3A	0437003.WR	P	Eletrônica	Baixa
98	Condensadores de tântalo 10 µF Moldado 6.3 V 1411 (Métrico 3528) 3,5 ohm	T491B106K006AT	P	Eletrônica	Baixa
99	Fototransistores 940nm Vista superior T-1	LTR-4206E	P	Eletrônica	Alta
100	Condensadores de tântalo moldados 10 µF 50 V 2917 (métrico 7343) 800mOhm	T491D106K050AT	P	Eletrônica	Baixa
101	Condensadores de tântalo moldados de 10 µF 16 V 1411 (3528 métricos) 2,8 Ohm	T498B106K016ATE2K8		Eletrônica	Baixa
102	Resistência de chip 20 kOhms ±1% 0,1W, 1/10W	ERJ-3EKF2002V	P	Eletrônica	Baixa
103	Condensador de cerâmica X7R 0603 (métrico 1608) 0.22 µF ±10% 25V	GRM188R71E224KA88D	P	Eletrônica	Baixa
104	Condensador de cerâmica X7R 0603 (métrico 1608) 1 µF ±10% 50V	UMK107AB7105KA-T	P	Eletrônica	Baixa
105	Resistência de chip 0603 (métrico 1608) 332 Ohms ±1% 0,1W, 1/10W	ERJ-3EKF3320V	P	Eletrônica	Baixa
106	Resistência de chip 0805 (métrico 2012) 1 kOhms ±1% 0,125W, 1/8W	ERJ-6ENF1001V	P	Eletrônica	Baixa
107	Resistência de chip 0805 (métrico 2012) 100 Ohms ±1% 0,125W, 1/8W	ERJ-6ENF1000V	P	Eletrônica	Baixa
108	Controlador bipolar de motor DMOS Lógica QFN-28 (5x5)	A4983SETTR-T	P	Eletrônica	Alta
109	Condensador moldado de polímero e tântalo 35 V 10 µF 200mOhm a 100kHz	TCJC106M035R0200	P	Eletrônica	Baixa
110	LEDs padrão - SMD <i>Green Clear</i> 571nm	LTST-C191KGKT		Eletrônica	Baixa
111	Cartão MicroSD <i>breakout board+</i>	254	P	Eletrônica	Alta
112	Conjunto de 120 condensadores eletrolíticos - Velleman K/CAP2		P	Eletrônica	Baixa
113	Conjunto de 224 condensadores cerâmicos - Velleman K/CAP1		P	Eletrônica	Baixa
114	Conversor TTL 5V/ 3.3 V Bidirecional	BOB-12009	P	Eletrônica	Alta
115	Conversor FTDI (FT232RL) USB para <i>serial TTL</i>	FT232RL	P	Eletrônica	Alta
116	Kit de Resistências		P	Eletrônica	Baixa
117	Conversor <i>Boost</i> de Comutação DC-DC Ajustável <i>Step-Up</i>	XL6009E1	P	Eletrônica	Baixa
118	Potenciômetro linear com veio 2W 10KR		P	Eletrônica	Baixa
119	Conversores Raspberry Pi analógico para digital	ADS1015 / ADS1115	P	Eletrônica	Alta
120	<i>Timers</i> e Produtos de Suporte CMOS	TLC555CP	P	Eletrônica	Alta
121	Caixa de controlo <i>Microstep Driver</i>		P/M	Eletrônica	Baixa
122	Fusíveis		P	Eletrônica	Baixa
123	Dissipadores		P/M	Eletrônica	Baixa
124	Díodo	IN4007	P	Eletrônica	Baixa
125	Interruptor		P	Eletrônica	Baixa

126	Resistência 2,2 K Ω (Transistor)		P	Eletrônica	Baixa
127	Resistência 22 K Ω (Pull-Down)		P	Eletrônica	Baixa
128	Resistência 220 Ω (Divisor de tensão)		P	Eletrônica	Baixa
129	Raspberry Pi 4 Model B 4GB		M	Microcontroladores	Alta
130	Fonte de Energia USB C Raspberry Pi (<i>Power Supply</i>)		P/M	Microcontroladores	Alta
131	Arduino Uno Rev3		M	Microcontroladores	Alta
132	Arduino Mega 2560 Rev3		M	Microcontroladores	Alta
133	Arduino MKR 1000		M	Microcontroladores	Alta
134	Microcontroladores de 8 bits 20MHz 1.8V-5.5V	ATMEGA328P-PU	P	Microcontroladores	Baixa
135	<i>Joystick Shield</i> Para Arduino	ARDU-17422	P/M	Microcontroladores	Baixa
136	Conectores/Cabeçalhos de empilhamento de escudo para Arduino	P85	P	Microcontroladores	Baixa
137	Módulo Wi-Fi	ESP8266	P	Microcontroladores	Alta
138	Módulo <i>Joystick</i>		P/M	Microcontroladores	Baixa
139	Câmera HQ Raspberry Pi		M	Sensores	Alta
140	Lente 6mm 3MP Raspberry Pi		M	Sensores	Alta
141	Mala de transporte impermeável Max235H155S		G	Sensores	Baixa
142	Sensor de Temperatura	LM 35	P	Sensores	Alta
143	Câmaras e módulos de câmaras	114992270		Sensores	Alta
144	Sensores de temperatura de montagem de placa	AD22103KRZ	P	Sensores	Baixa
145	Sensores de temperatura de montagem de placa	LMT70YFQR	P	Sensores	Alta
146	Adafruit 9-DOF Orientação Absoluta IMU <i>Fusion Breakout</i>	BNO055	P	Sensores	Alta
147	Placa de teste do sensor	SEN-13762	P	Sensores	Alta
148	Sensor de Velocidade		P	Sensores	Alta
149	Módulo RTC (GD) Grove	109020003	P	Sensores	Alta
150	Módulo GSM GPRS	SIM800L	P	Sensores	Alta
151	Controlador de Velocidade		P	Sensores	Alta
152	Bateria 12 V 12 Ah		G	Energia	Alta
153	Carregador de Baterias 12V 6A		G	Energia	Alta
154	Cabo USB-C - 0,5m		P/M	Energia	Alta
155	Fita de Níquel para Baterias 18650 8 x 0,1 mm - 10 mt		G	Energia	Baixa
156	Módulo de Carregamento Solar Adafruit		M	Energia	Baixa
157	Conector fêmea PH JST de 2 pins		P/M	Energia	Baixa
158	Pilhas recarregáveis VARTA ACCU AA NiMH/2600mAh/1,2V		P	Energia	Alta
159	Carregador de Pilhas VARTA 4AA			Energia	Alta
160	Cabos de Ligação Jumper Dupont macho-macho		P/M	Energia	Alta
161	Cabo Arduino USB AB		M	Energia	Alta
162	Cabos de Ligação Jumper Dupont fêmea-fêmea		P/M	Energia	Alta
163	Cabos de Ligação Jumper Dupont macho-fêmea		P/M	Energia	Alta
164	JST macho 2 pins		P/M	Energia	Alta

165	JST fêmea 2 pins		P/M	Energia	Baixa
166	JST 10 pins		P/M	Energia	Baixa
167	JST 3 pins		P/M	Energia	Baixa
168	Conector X 90		P	Energia	Baixa
169	Cabo conector JST fêmea 2 pins/ pH		P/M	Energia	Baixa
170	Baterias 10000 mAh 259 Wh		G	Energia	Alta
171	Conectores		P	Energia	Alta
172	Suporte para fusíveis cilíndricos 5*20mm para soldar em PCB		P	Energia	Baixa
173	Conjunto de fichas e ligadores Jumper - Velleman VCS202		P	Energia	Baixa
174	Conectores elétricos		P	Energia	Baixa
175	Bloco de 2 terminais com parafuso (0,03 mm ²) 2,54mm para PCB - verde		P	Energia	Baixa
176	Bateria recarregável Li-Po 3,7V 250mAh 5*20*30 mm	MR18650	P/M	Energia	Baixa
177	Pente de pinos		P	Energia	Baixa
178	Extensão JST-PH p/Bateria		P/M	Energia	Baixa
179	Suporte de pilha 1*MR18650 com fios de 130 mm		P/M	Energia	Alta
180	Distribuidores e Alojamento de Fios	DF52-10S-0.8H(21)	P	Energia	Baixa
181	Dissipador de calor de alumínio		P/M	Energia	Baixa
182	Conectores de 8 e 6 pinos (<i>Shield stacking headers for Arduino</i>)			Energia	Baixa
183	Conector barra de pinos	87224-2	P	Energia	Baixa
184	Suporte para fusível 5*20mm com tampa		P	Energia	Baixa
185	Bloco de 8 terminais com parafuso cobertura para PCB (conector)		P	Energia	Baixa
186	Contacto de pilhas AAA/RO3 em série (positivo+negativo)		P	Energia	Alta
187	Conector de fio (wago)		P	Energia	Baixa
188	Cabo AC		G	Energia	Baixa
189	Cabos AC 6mm ² (Fios de silicone para altas temperaturas) vermelho		G	Energia	Baixa
190	Cabos AC 6mm ² (Fios de silicone para altas temperaturas) preto		G	Energia	Baixa
191	Motor		M	Energia	Alta
192	Conector de baterias		P/M	Energia	Baixa
193	Conectores Elétricos		P	Energia	Alta
194	Biqueiras Isoladas		P	Drogaria e Ferragens	Baixa
195	Parafusos e elementos de Fixação		P	Drogaria e Ferragens	Baixa
196	Pack de parafusos em Latão		P	Drogaria e Ferragens	Baixa
197	Parafuso cabeça cônica de inox M4*20mm		P	Drogaria e Ferragens	Baixa
198	Anilha lisa de inox M4 Ø 18,33*64,85mm		P	Drogaria e Ferragens	Baixa
199	Porca sextavada de aço zincado	KRAFTBERG	P	Drogaria e	Baixa

	M4			Ferragens	
200	Verniz químico para placas de circuito impresso - 50ml		M	Drogaria e Ferragens	Baixa
201	Chaves de alternância <i>SEALED OI</i>	TS-10020	P	Drogaria e Ferragens	Baixa
202	LoRa Hat 868 MHz para Raspberry		M	Comunicação	Alta
203	Ferramentas de Desenvolvimento sub-GHz LoRa Shield v95 868 MHz Dragino		M	Comunicação	Alta
204	<i>Gateway</i> de persiana ao ar livre com 4G	DLOS8	G	Comunicação	Alta
205	Caixas		P/M	Caixas e Cablagens	Baixa
206	Adaptador tubular de passagem de cabos		P/M	Caixas e Cablagens	Baixa
207	Braçadeiras de fixação de cabo		P/M	Caixas e Cablagens	Baixa
208	Chapa de alumínio de fixação		P/M	Caixas e Cablagens	Baixa
209	Perfil de alumínio		P/M	Caixas e Cablagens	Baixa

Nota: **Tamanho:**
P- Pequeno
P/M- Pequeno/médio
M- Médio
G- Grande

Anexo II

ENUNCIADO DE TESTE/RELATÓRIO/FICHA DE TRABALHO	
CURSO: Automação, Robótica e Controlo Industrial	Operação: CENTRO-03-5571-FSE-000014
Plano Adicional de Formação	1º Semestre
Disciplina/UFCD: Robótica - Fundamentos	Pólo: Covilhã
Nome do Formador:	Data:
(Quando aplicável)	
Nome dos Formandos _____ _____ _____ _____	Classificação: valores

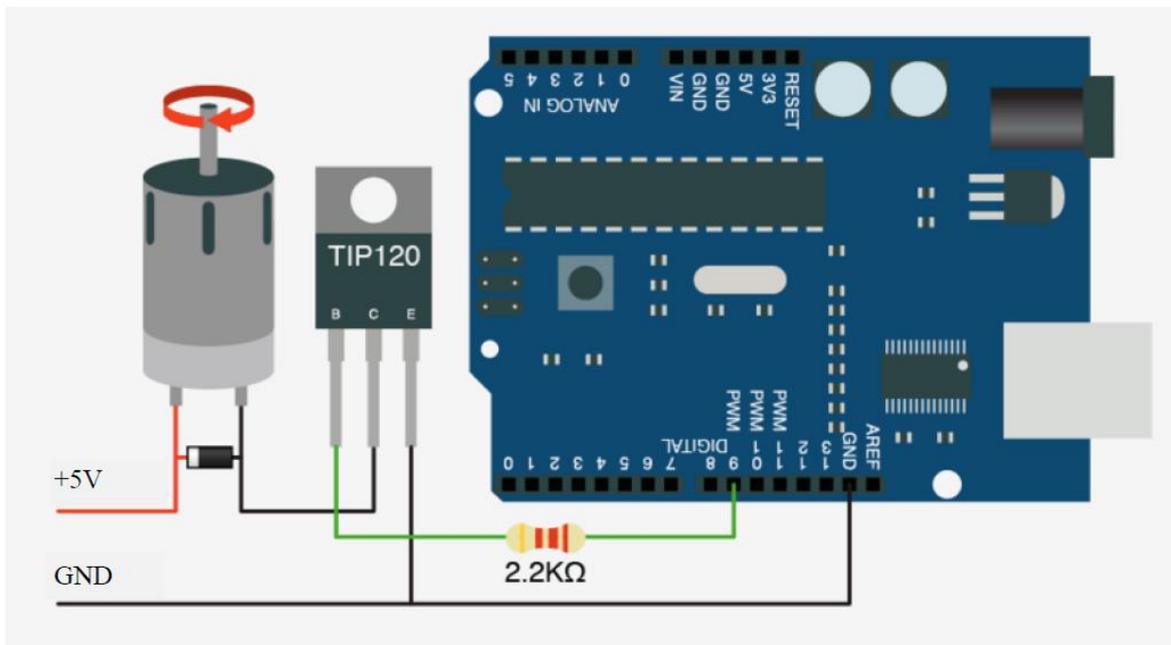
Atividade 7: Transístores e PWM para controlar a velocidade de um motor DC

Material necessário:

- 1 x Transistor TIP120;
- 1 x Resistência 2,2 K Ω (Transístor);
- 1 x Resistência 22 K Ω (*Pull-Down*);
- 1 x resistência 220 Ω (Divisor de tensão);
- 1 x Díodo IN4007;
- 1 x interruptor;
- 1 x LDR;
- 1 x *Breadboard*;
- Arduino.

1. Monte o circuito da imagem abaixo. Programe o Arduino para acionar o motor com um *Duty Cycle* de 50%.

Indique o programa que criou.



2. Acrescente um interruptor, tendo o cuidado de acrescentar uma resistência *Pull-down*, e crie um programa que faça variar o *duty cycle* entre 30%, 50% e 70% com cada clique do botão. Indique o programa que criou.
3. Retire o interruptor, e acrescente um LDR. Faça variar gradualmente a velocidade do motor com a aproximação da mão ao LDR. Indique o programa que criou.