



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Stieven Andrade Portugal

**ESTUDO DO CONCEITO DE LEARNING FACTORY,  
MELHORIA DE UM PROCESSO DE MONTAGEM E  
IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA KANBAN**

**Dissertação no âmbito do mestrado de Engenharia e Gestão Industrial, orientada  
pelos Professores Doutores Cristóvão Silva e Paulo Vaz, apresentada no  
departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da  
Universidade de Coimbra.**

Julho de 2019



1 2



9 0

FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Estudo do conceito de *learning factory*, melhoria de um processo de montagem e implementação de um sistema *Kanban***

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e  
Gestão Industrial

## **A study of the learning factory concept, improvement of an assembly process and implementation of a *Kanban* system**

Autor

**Stieven Andrade Portugal**

Orientadores

**Professor Doutor Cristóvão Silva**

**Professor Doutor Paulo Vaz**

Júri

Presidente	<b>Professor Doutor José Luís Ferreira Afonso</b> <b>Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b> <b>Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira</b>
Vogais	<b>Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b> <b>Professor Doutor Cristóvão Silva</b> <b>Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b>
Orientador	<b>Professor Doutor Cristóvão Silva</b> <b>Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b>

Coimbra, Julho, 2019



"An optimist will tell you the glass is half-full; the pessimist, half-empty; and the engineer will tell you the glass is twice the size it needs to be"

(Unknown)



## Agradecimentos

Com a finalização da presente dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial encerra-se mais um capítulo do meu percurso académico. Não podendo deixar de agradecer a quem me apoiou ao longo desta jornada e que me possibilitou alcançar todos os meus objetivos, dedico-lhes esta secção.

Quero agradecer em primeiro lugar aos meus pais e à minha irmã, que sempre me motivaram e tiveram confiança em mim durante todo o meu percurso académico. Certamente foram um dos grandes pilares que me permitiram chegar tão longe e superar todos os obstáculos deste percurso exigente.

Aos meus professores quero também deixar o meu agradecimento por me terem formado como futuro engenheiro e terem me preparado da melhor forma para o mercado de trabalho. No que toca ao contributo direto na presente dissertação, quero também agradecer em especial aos meus dois orientadores, nomeadamente os professores Doutores Cristóvão Silva e Paulo Vaz, pela disponibilidade e apoio demonstrado ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Por último, quero deixar também uma palavra de agradecimento aos meus amigos, colegas de curso e colegas do laboratório de EGI pela amizade, motivação e vontade de ajudar que demonstraram ao longo deste percurso.





## Resumo

Os objetivos principais deste trabalho são: o estudo do conceito de *learning factory*, a melhoria de um processo de montagem e a implementação de um sistema *Kanban* no Laboratório de Engenharia e Gestão Industrial.

Durante o estudo do conceito de *learning factory* verificou-se que foi criado um modelo consensual para a morfologia das *learning factories*, constituído por 60 características distribuídas por 7 dimensões. Este modelo permite efetuar uma descrição detalhada das *learning factories* existentes e servir como ponto de partida para o desenvolvimento de novas *learning factories*.

Os fatores como a globalização, novas tecnologias, escassez de recursos, mudanças demográficas, entre outros, têm grande influência na indústria, criando a necessidade da utilização de *learning factories* para o desenvolvimento de competências e inovação com o intuito de fazer face à competitividade do mercado.

As *learning factories* demonstram um grande potencial ao nível do desenvolvimento das competências dos formandos, promovem a inovação através de investigação, providenciam um meio realista onde não existem pressões de custo ou de produtividade, permitem a aproximação da indústria com instituições de ensino e de investigação, entre outros. As *learning factories* têm limitações ao nível da eficiência, escalabilidade, mobilidade, *mapping ability of issues* e os recursos necessários.

Reduziu-se o tempo de montagem médio de um produto de 14,3 minutos para 3,8 minutos (com desvio padrão de 0,56 minutos), correspondendo a uma redução de 73,3%. Esta redução foi alcançada através do estabelecimento de um procedimento de montagem, utilização de uma parafusadora elétrica e desenvolvimento de um gabarito de montagem impresso numa impressora 3D.

Estabeleceu-se também um *milk-run* de reabastecimento e de recolha de caixas vazias na linha de montagem, balanceamento da linha e por fim, idealizou-se um sistema *Kanban* com três quadros *Kanban*, dois stocks de produto intermédio e um stock de produto final. Este sistema *Kanban* não foi possível implementar com sucesso devido aos reduzidos tempos de lead-time e insuficiência de materiais para produzir lotes.

O laboratório de Engenharia e Gestão Industrial tem neste momento potencial para ser uma *learning factory* com foco de formação na área Lean. Caso se incorporem ferramentas auxiliares como robôs, tablets, leitores RFID e de código de barras, poderão ser adicionadas algumas características de indústria 4.0 ao laboratório em questão.

Como demonstrado neste trabalho, podem ser implementadas ferramentas como: 5S, *milk-run*, balanceamento da linha e melhoria de um processo de montagem. Desta forma, possibilitará aos formandos da *learning factory* do Laboratório de Engenharia e Gestão Industrial ter uma aprendizagem ativa num ambiente de trabalho realístico, desenvolvendo principalmente as suas competências profissionais e metodológicas.

**Palavras-chave:** Learning factory, Kanban, Lean, Linha de montagem.

## Abstract

The main objectives of the work presented are: the study of the learning factory concept, the improvement of a manual assembly process and implementation of a Kanban system in the laboratory of Engineering and Industrial Management.

During the study of the learning factory concept it was verified that there was a consensual model for the learning factory morphology, formed by 60 characteristics distributed in 7 dimensions. This model allows a detailed description of the existing learning factories and serves as a starting point for the development of new ones.

Factors such as globalization, new technologies, scarcity of resources, demographic changes, among others, have a strong influence in the industry and create the need for learning factories for the development of skills and innovation in order to face the competitiveness of the actual and future markets.

Learning factories show great potential for the development of student's and worker's competences, promote innovation through research, provide a realistic environment where the productivity and cost pressure are inexistent, allow to form a connection between industry, academical and research institutions. The limitations of learning factories are matters related with the efficiency, scalability, mobility, mapping ability of issues and the required resources.

The average assembly time of a product was reduced from 14,3 minutes to 3,8 minutes (with a standard deviation of 0,56 minutes), corresponding to a reduction of 73,3%. This reduction was achieved by establishing an optimized assembly procedure, use of an electric screwdriver, development and use of a template that was printed on a 3D printer.

It was also established a milk-run for the replenishment and collection of empty boxes of the assembly line, workload balancing and at last, a Kanban system was designed with three Kanban boards, two stocks of intermediate product and one stock of final product. This Kanban system was not successfully implemented due to the reduced lead-times and insufficient materials to produce batches.

The laboratory of Engineering and Industrial Management has at this moment potential to be a learning factory with a focus on the Lean area. If RFID and bar code readers,

robots and tablets were added in this laboratory, it would be possible to incorporate some industry 4.0 features.

As demonstrated in this work, tools such as: 5S, milk-run, line balancing and improvement of an assembly process can be implemented. In this way, it will enable the participants of the future learning factory (laboratory of Engineering and Industrial Management) to have an active learning process in a realistic working environment, developing mostly their professional and methodological skills.

**Keywords:** Learning factory, Kanban, Lean, assembly line.

## Índice

Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tabelas .....	xiii
Siglas .....	xv
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. METODOLOGIA .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
3.1. Termos relevantes na literatura acerca de <i>learning factories</i> .....	5
3.2. Terminologia e definição de <i>learning factories</i> .....	6
3.3. Desenvolvimento histórico das <i>learning factories</i> .....	9
3.4. Morfologia das <i>learning factories</i> .....	12
3.4.1. Modelo operacional .....	13
3.4.2. Alvos e propósito .....	13
3.4.3. Processo .....	13
3.4.4. Configuração .....	14
3.4.5. Produto .....	14
3.4.6. Didática .....	15
3.4.7. Métricas da <i>learning factory</i> .....	15
3.5. Megatendências e desafios para a indústria .....	16
3.6. Principais competências a desenvolver nas <i>learning factories</i> .....	17
3.6.1. <i>Learning factory</i> com foco na área de Lean .....	18
3.6.2. <i>Learning factory</i> com foco na área de indústria 4.0 .....	20
3.6.3. <i>Learning factory</i> com foco em Lean 4.0 .....	24
3.7. Formas de aprendizagem de <i>active learning</i> .....	26
3.8. Influência das <i>learning factories</i> no sucesso de ensino .....	26
3.9. Potencial e limitações das <i>learning factories</i> .....	27
3.9.1. Potencial das <i>learning factories</i> .....	27
3.9.2. Limitações das <i>learning factories</i> .....	28
3.10. Ferramentas Lean aplicadas na parte prática .....	31
3.10.1. Sistema <i>Kanban</i> .....	31
3.10.2. <i>Milk-Run</i> .....	38
3.10.3. Ferramenta 5S .....	39
4. PARTE EXPERIENCIAL NO LABORATÓRIO DE EGI .....	41
4.1. Laboratório de EGI .....	41
4.2. Armazém .....	42
4.3. Postos de trabalho e supermercado .....	43
4.4. Produto a ser montado na linha de montagem .....	43
4.5. Desenvolvimento do gabarito de montagem .....	45
4.5.1. Primeira iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem .....	45
4.5.2. Segunda iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem .....	46
4.5.3. Terceira iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem .....	47

4.5.4.	Quarta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem .....	47
4.5.5.	Quinta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem .....	48
4.5.6.	Sexta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem .....	48
4.5.7.	Sétima iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem .....	49
4.5.8.	Oitava iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem .....	49
4.5.9.	Versão final do gabarito de montagem .....	50
4.6.	Evolução dos tempos de montagem do produto .....	51
4.6.1.	Primeira fase do estudo da evolução dos tempos de montagem do produto .	51
4.6.2.	Segunda fase do estudo da evolução dos tempos de montagem do produto .	52
4.6.3.	Terceira fase do estudo da evolução dos tempos de montagem do produto .	53
4.6.4.	Junção de todas as fases do estudo da evolução dos tempos de montagem e desmontagem.....	55
4.7.	<i>Milk-run</i> para os supermercados dos postos da linha de montagem .....	56
4.8.	Processo de implementação de um sistema <i>Kanban</i> no LabEGI .....	57
4.8.1.	Balanceamento da linha de montagem.....	58
4.8.2.	Linha mal balanceada no âmbito de <i>learning factory</i> .....	59
4.8.3.	Implementação do Sistema <i>Kanban</i> .....	60
5.	CONCLUSÕES.....	65
6.	TRABALHOS FUTUROS.....	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
	ANEXO A.....	75
	ANEXO B .....	76
	ANEXO C .....	80
	ANEXO D.....	81
	ANEXO E .....	82
	ANEXO F.....	84
	APÊNDICE A .....	85
	APÊNDICE B .....	90
	APÊNDICE C .....	91
	APÊNDICE D .....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 Ciclo de aprendizagem experiencial proposto por Kolb (Abele et al., 2017).....	6
Figura 3-2 Adaptação do cone de experiência de Dale (Böhner et al., 2015).....	7
Figura 3-3 Características chave das LF's e análise das LF em sentido estrito e amplo (Abele et al., 2015).....	9
Figura 3-4 Evolução do número de documentos publicados no Google Scholar relacionados com learning factory e teaching factory (Tisch & Metternich, 2017).....	12
Figura 3-5 Casa Toyota. Adaptado de (Liker, 2004).....	19
Figura 3-6 As três etapas de ensino de Lean na <i>CiP Prozesslernfabrik</i> (Abele & Metternich, 2015).....	20
Figura 3-7 Aspetos da produção, tecnologias e competências necessárias (Simons et al., 2017).....	22
Figura 3-8 Sistema <i>cyber</i> -físico de montagem na I40PF (Erol et al., 2016).....	23
Figura 3-9 Aumento de produtividade com Lean e posterior integração de Indústria 4.0 (Prinz et al., 2018).....	25
Figura 3-10 Formas de aprendizagem de <i>active learning</i> mais importantes na área de engenharia (Abele et al., 2018).....	26
Figura 3-11 Média de cotação de alunos, obtidas num exame tendo em conta a frequência ou não frequência de uma LF. Adaptado de (Glass et al., 2018). 27	27
Figura 3-12 Limitações de espaço e tempo relacionadas à reprodução de ferramentas nas LF's (Abele et al., 2018).....	30
Figura 3-13 Recursos requeridos pelas LF's ao longo do seu ciclo de vida (Tisch & Metternich, 2017).....	30
Figura 3-14 <i>Kanban</i> usado na Toyota para receção de componentes da Ohasi Iron Works (Ohno, 1988).....	31
Figura 3-15 <i>Withdrawal Kanban</i> vindo da estação A em direção ao supermercado (Thürer et al., 2016).....	34
Figura 3-16 <i>Withdrawal Kanban</i> associado à peça 1 em deslocação para a estação A (Thürer et al., 2016).....	35
Figura 3-17 <i>WIP Kanban</i> dirige-se ao posto/linha anterior para produzir e repor o componente consumido pela estação posterior ao supermercado (Thürer et al., 2016).....	35
Figura 3-18 Representação do funcionamento de um sistema <i>Kanban</i> completo (Monden, 2012).....	36

Figura 3-19 Quadro <i>Kanban</i> com 4 produtos e 3 zonas. Adaptado de (Murino et al., 2010)	38
Figura 4-1 Estado inicial do armazém de peças soltas	42
Figura 4-2 Armazém de peças soltas após implementação de 5S	43
Figura 4-3 Produto a ser montado	43
Figura 4-4 Material necessário para montagem de produto de variante azul	44
Figura 4-5 Primeira iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem	46
Figura 4-6 Segunda iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem	46
Figura 4-7 Terceira iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem	47
Figura 4-8 Quarta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem	47
Figura 4-9 Quinta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem	48
Figura 4-10 Sexta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem	49
Figura 4-11 Sétima iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem	49
Figura 4-12 Oitava iteração do desenvolvimento gabarito de montagem	50
Figura 4-13 Versão final do gabarito de montagem	50
Figura 4-14 Tempos de montagem da primeira fase do operador A	52
Figura 4-15 Tempos de montagem da segunda fase do operador A	53
Figura 4-16 Tempos de montagem da terceira fase do operador A e B	54
Figura 4-17 Tempo médio de montagem dos ensaios efetuados pelos dois operadores na terceira fase	54
Figura 4-18 Evolução dos tempos de montagem e desmontagem dos dois operadores	55
Figura 4-19 Layout adotado para a determinação dos tempos médio e quantidades de reabastecimento	56
Figura 4-20 Média da carga de trabalho na linha de montagem balanceada	58
Figura 4-21 Análise de Pareto aos 10 ensaios da linha de montagem balanceada	59
Figura 4-22 Distribuição da carga de trabalhos para a linha mal balanceada no âmbito da LF	60
Figura 4-23 Esquema de funcionamento do sistema <i>Kanban</i> idealizado para implementação no LabEGI	61
Figura 4-24 Cartão <i>Kanban</i> para produto final amarelo	62
Figura 4-25 Cartão <i>Kanban</i> do conjunto de base marfim e manípulo	63
Figura 4-26 Cartão <i>Kanban</i> de quadrado da base azul	63



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1 Funções e regras para um bom funcionamento de um Sistema Kanban (adaptado de Ohno,1988) .....	32
Tabela 4-1 Número de <i>milk-runs</i> e tempos de ciclo em função de parâmetros de distância e componentes por caixa .....	57



## SIGLAS

CG – Caixa grande
CIRP CWG – CIRP Collaborative Working Group
CP – Caixa pequena
DEM – Departamento de Engenharia Mecânica
EGI – Engenharia e Gestão Industrial
ERP – Enterprise resource planning
FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
I40PF – Industry 4.0 Pilot Factory
JIT – Just-in-Time
KPI – Key performance indicator
LabEGI – Laboratório de Engenharia e Gestão Industrial
LF – Learning factory
LF's – Learning factories
LFL4.0 – Learning factory Lean 4.0
LLF – Lean learning factory
P2 – Parafuso P2 presente na lista de inventário no Apêndice A
PM – Peça modelo
PS – Porca sextavada presente na lista de inventário no Apêndice A
PT – Posto de trabalho
QK – Quadro <i>Kanban</i>
RFID – Identificação por radiofrequência
SME – Pequenas e medias empresas
SMED – Single minute exchange of die
SOP – Start of production (início da produção)
TPS – Toyota Production System
VSM – Value stream mapping
WIP – Work in process



## 1. INTRODUÇÃO

Num ambiente de negócios cada vez mais competitivo, surgem diversos desafios para as organizações, tais como a globalização, clientes cada vez mais exigentes, customização dos produtos e o seu curto ciclo de vida, a constante atualização das tecnologias e a escassez de recursos (Veza et al., 2015). Estes desafios levam a que as empresas tenham de ser muito eficientes a todos os níveis na organização e terem adaptabilidade ao contexto de negócios no qual se inserem.

Os trabalhadores e as suas competências têm um impacto elevado no que diz respeito à sobrevivência e ao sucesso de uma organização (Veza et al., 2015). Desta forma, é essencial que os trabalhadores das organizações tenham uma aprendizagem contínua, visto que os processos, os produtos, as tecnologias, as normas e a legislação, sofrem alterações com o avançar do tempo devido a necessidades do mercado ou imposições governamentais.

O conhecimento que fica retido na memória varia consoante a forma de como esta é transmitida, 10% fica retido na memória através da audição, 20% através da observação, 40% por audição e observação simultânea, e por fim, 80% através de aplicação prática (Goerke et al., 2015). O desenvolvimento de competências só é possível quando permite uma conexão entre o conhecimento adquirido e a capacidade de aplicação desse conhecimento em contexto prático (Matt et al., 2014).

O ensino e formação na área industrial não acompanhou os avanços que se verificaram nas tecnologias de produção nem nos requisitos do mercado de trabalho (Abele et al., 2017).

Para dar resposta aos desafios que as organizações enfrentam e as limitações verificadas nas competências dos trabalhadores e estudantes, surgiram as *learning factories* (LF's) (Tisch & Metternich, 2017). As mesmas conseguem providenciar um meio de aprendizagem realístico, que proporciona uma aprendizagem orientada para o desenvolvimento das competências dos seus formandos (Müller-Frommeyer et al., 2017). As *learning factories* também podem ser utilizadas com fins de investigação e desenvolvimento para uma posterior transferência de soluções inovadoras para as indústrias (Abele et al., 2015).



## 2. METODOLOGIA

Nesta subsecção será demonstrada a metodologia definida e seguida no âmbito da realização desta dissertação. Tendo esta dissertação uma parte de contexto prático realizada no Laboratório de EGI (LabEGI) e uma parte relacionada ao estudo do conceito de *learning factories*, estabeleceu-se que seriam trabalhados alternadamente.

Deu-se o início à pesquisa bibliográfica tendo como foco as LF's, de modo a aprofundar os conhecimentos sobre este tema relativamente recente, que está a ganhar cada vez mais o interesse das universidades, empresas e investigadores. As pesquisas foram direcionadas a artigos científicos, maioritariamente publicados nas conferências internacionais sobre *learning factories* (até ao momento encontram-se na nona edição). Já a nível de livros publicados sobre este conceito, não se verificaram muitas fontes para análise.

Quanto à parte prática, definiu-se proceder à organização dos componentes, tanto nos postos de trabalho como no armazém, fazer um inventário de todo o material relevante no LabEGI, proceder à redução dos tempos de montagem do produto realizando a montagem toda num único posto de trabalho, tendo o cuidado de filmar e analisar posteriormente as filmagens. A análise dos vídeos das montagens tinha o propósito de auxiliar na criação de um procedimento óptimo de montagem e analisar os tempos das suas operações. Além de estruturar um procedimento de montagem, definiu-se que seria desenvolvido um gabarito de montagem e aplicação de uma parafusadora elétrica para tentar reduzir drasticamente os tempos de montagem do produto.

Numa fase posterior, procedeu-se a uma revisão bibliográfica focada em algumas ferramentas que pudessem ser adotadas na linha de montagem do LabEGI, tais *Kanban*, *5S* e *milk-run*.





### 3. REVISÃO DE LITERATURA

Esta secção irá explorar primeiramente o conceito de *learning factory*, começando pela sua origem e desenvolvimento histórico, a terminologia e morfologia, seguindo-se uma análise às megatendências e desafios na indústria. Abordam-se também exemplos de LF's existentes, competências a desenvolver nas LF's em geral e em LF's dedicadas a uma determinada área, tal como as diferentes formas de *active learning* e os resultados da medição do sucesso num exame quando comparados resultados de frequentadores de LF's e não frequentadores. Por último, apresenta-se o potencial do conceito das LF's e as suas limitações.

Segue-se uma breve revisão da literatura sobre algumas ferramentas que foram aplicadas em contexto prático no âmbito deste trabalho.

#### 3.1. Termos relevantes na literatura acerca de *learning factories*

Devido à importância de alguns termos na literatura relacionados às LF's e à repetibilidade com que os mesmos surgem nos documentos publicados, será feito um levantamento de termos importantes e as suas definições:

**Aprender:** Envolve a aquisição e alteração dos conhecimentos, *skills*, estratégias, crenças, atitudes e comportamentos (Abele et al., 2017).

**Conhecimento:** Resultado de incorporação de informação através de aprendizagem. O conhecimento engloba factos, princípios, teorias e práticas que estão relacionadas com uma área de estudo ou trabalho (Abele et al., 2017).

**Qualificações:** As ações estão no centro deste conceito em vez do conhecimento, em contraste com o que se verifica nas competências, as qualificações podem ser avaliadas e verificadas facilmente através de algum tipo de certificação (ex: carta de condução, diploma). As qualificações são muito importantes para servirem de pré-requisito para as competências de um indivíduo (Abele et al., 2018).

**Competências:** São fundados por conhecimento, construídas por regras, valores e normas, personalizadas por processos de interiorização, consolidadas através de experiência (Heyse & Erpenbeck, 2004).

**Teaching factory:** Espaço de aprendizagem sem localização geográfica fixa, que é facilitado por tecnologias de informação e comunicação avançadas, equipamentos industriais didáticos de alta qualidade e que opera como um canal de comunicação bi-direcional que permite a troca de conhecimentos (Stavropoulos et al., 2018). Conseguir de certa forma trazer a fábrica real para “dentro da sala de aula” e passar o conhecimentos dos laboratórios do meio acadêmico para as fábricas reais (Stavropoulos et al., 2018).

### 3.2. Terminologia e definição de *learning factories*

O termo “*learning factory*”, é constituído pelas palavras “*learning*” e “*factory*”, o que indica que este conceito tem de ter associado tanto a aprendizagem como um ambiente industrial.

A palavra “*learning*” tem um significado oposto de “*teaching*”, portanto o termo de LF realça desta forma a importância da aprendizagem experiencial, visto que de acordo com estudos realizados, uma aprendizagem com vertente mais prática permite uma maior retenção e aplicação dos tópicos abordados quando comparados com formas de ensino tradicional (Abele et al., 2015). Na Figura 3-1 pode ser observado o ciclo de aprendizagem experiencial proposto por Kolb que tem associado um processo de aprendizagem, no qual o conhecimento é adquirido de forma cíclica através da transformação inerente de 4 fases, nomeadamente, fase de experiência concreta, observação e reflexão, conceptualização abstrata e experimentação ativa (Abele et al., 2017).

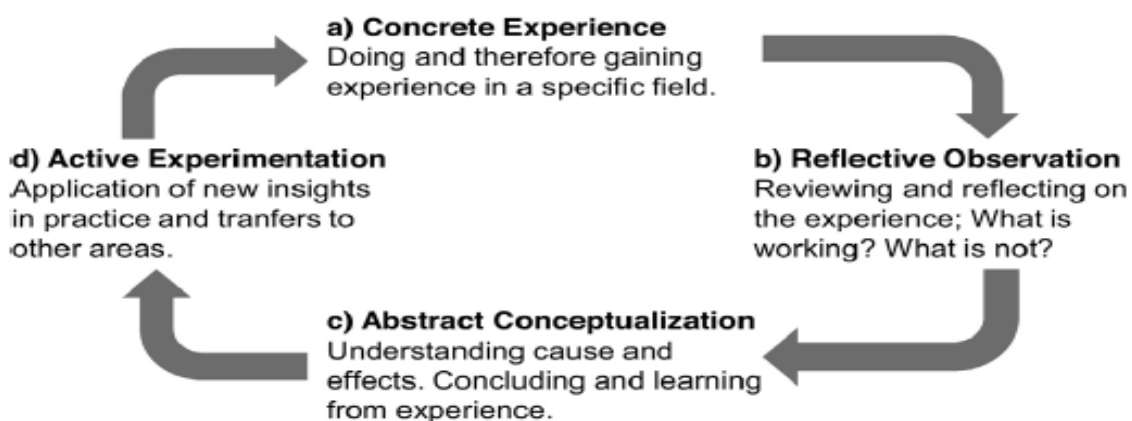


Figura 3-1 Ciclo de aprendizagem experiencial proposto por Kolb (Abele et al., 2017)

Em relação ao conhecimento retido pelos formandos e a sua capacidade de aplicação, segundo o cone de experiência proposto por Dale, presente na Figura 3-2, verifica-se que quanto mais prática for a formação, maior será a quantidade de conhecimento retido e maior a capacidade de aplicação desses conhecimentos em contexto real.

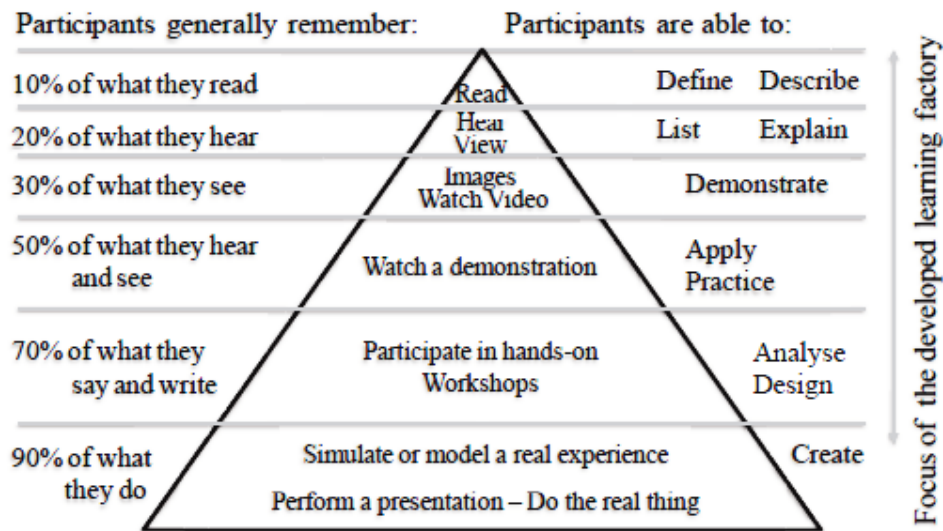


Figura 3-2 Adaptação do cone de experiência de Dale (Böhner et al., 2015)

As LF's podem ser frequentadas por estudantes, trabalhadores e investigadores, sendo que providenciam um ambiente de produção realístico no qual os seus formandos podem aprender e desenvolver as suas competências sobre os tópicos disponibilizados, enquanto que investigadores podem desenvolver ideias inovadoras no que respeita a processos tecnológicos ou organizacionais (Abele et al., 2018, 2015). Para este efeito, os processos, as tecnologias, os postos de trabalho e as cadeias de valor presentes na LF são semelhantes aos que se verificam em fábricas reais, levando a que os formandos consigam lidar com problemas tecnológicos e organizacionais que poderiam facilmente ocorrer no mundo do trabalho industrial (Abele et al., 2015).

Dentro do CIRP CWG chegou-se um acordo para uma definição de LF:

“Uma *learning factory* no sentido restrito é um ambiente de aprendizagem com processos que são autênticos, que incluem, múltiplas estações, aspetos técnicos tais como organizacionais, uma configuração alterável que diz respeito a uma verdadeira cadeia de valor, um produto físico a ser manufaturado, um conceito didático que compreende aprendizagem formal, informal e não-formal, possibilitada pelas próprias ações dos formandos num regime de aprendizagem presencial.

Dependendo do propósito das *learning factories*, a aprendizagem pode ser facultada através de ensino, formação e/ou investigação. Consequentemente, os *outputs* de aprendizagem podem ser desenvolvimento de competências e/ou inovação. É desejável um modelo operacional que assegure as operações da *learning factory* de forma sustentável.

Num sentido amplo, os ambientes de aprendizagem vão de encontro à definição proposta anteriormente, mas com:

- Uma configuração que se assemelha a uma cadeia de valor virtual em vez de uma cadeia de valor física, ou;
- Um serviço como produto em vez de um produto físico, ou;
- Um conceito didático baseado na aprendizagem remota em vez de aprendizagem presencial.

Estes exemplos podem ser considerados como *learning factories* em sentido amplo” (Abele, 2016; Abele et al., 2017, 2018).

As LF’s em sentido restrito permitem um desenvolvimento de competências mais eficiente comparado com as LF’s em sentido amplo, visto que as LF’s em sentido restrito englobam um produto físico, uma cadeia de valor real e aprendizagem efetuada no local, tendo as seguintes vantagens (Abele et al., 2018):

- Ao usar um ambiente físico em vez de virtual, o processo de desenvolvimento de competências é mais ativo e mais autêntico.
- A aprendizagem efetuada em regime presencial na LF permite a aplicação imediata num ambiente industrial real, desta forma, possibilita uma aprendizagem ativa. Neste caso, no processo de aprendizagem, dá-se a integração de pensar e aplicar.
- Utiliza um produto físico, logo trata-se de um produto tangível.

Na Figura 3-3 encontram-se as características chave das LF’s e uma representação gráfica de análise das LF’s segundo três fatores, resultando em LF’s em sentido restrito ou amplo. É de notar que as características chave das LF’s assinaladas com asterisco, são as que permitem a distinção das LF’s de sentido restrito e amplo. Sendo que as LF’s com produto físico, cadeia de valor real e com ensino presencial são LF’s em sentido restrito, qualquer alteração num desses três fatores, leva a que sejam consideradas LF’s em sentido amplo (Abele et al., 2017, 2018, 2015).

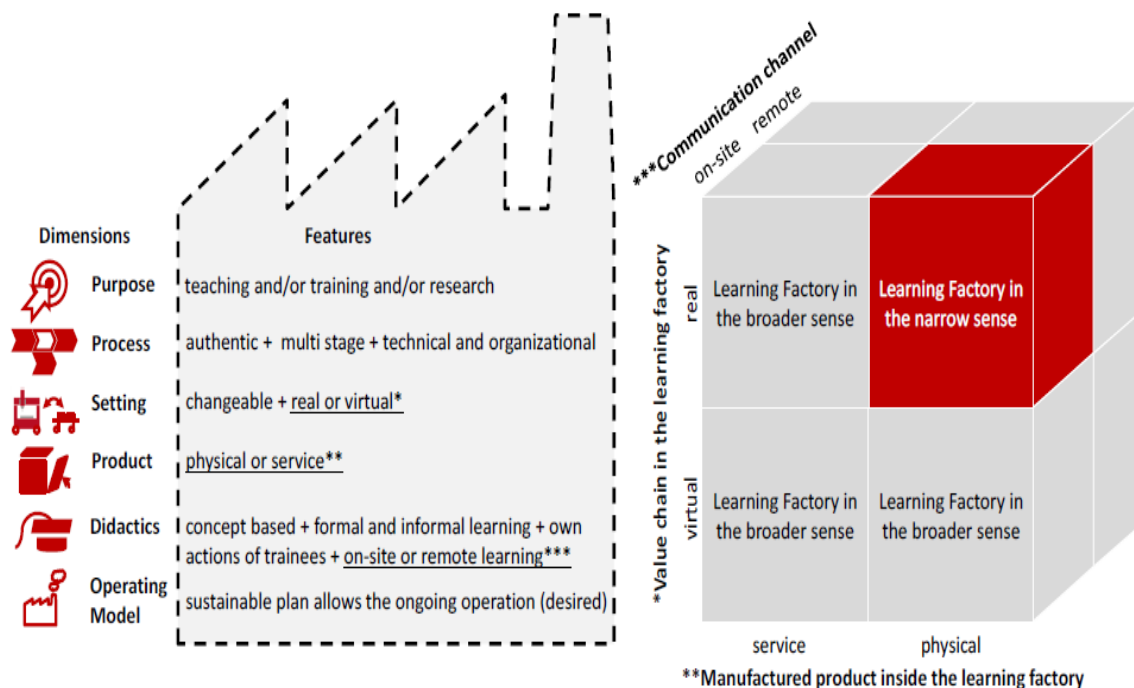


Figura 3-3 Características chave das LF's e análise das LF em sentido estrito e amplo (Abele et al., 2015)

Tal como demonstrado na Figura 3-3, o conceito de *learning factory* pode assumir diversas formas tendo em conta os três fatores em análise. No Anexo A podem ser observados alguns exemplos de LF's com diferentes cenários de aplicação.

### 3.3. Desenvolvimento histórico das *learning factories*

#### Primeira fase de desenvolvimento das *learning factories*

O conceito de *learning factory* está-se a tornar cada vez mais popular, sendo que as LF's tiveram a sua origem nos fins dos anos 80 e inícios dos anos 90. Primeiramente com a construção da *Computer-Integrated Manufacturing learning factory*, localizada em Estugarda (Alemanha) tal como a Bernard M. Gordon *learning factory* na Universidade de Penn State (Tisch & Metternich, 2017).

No ano de 1994, a *National Science Foundation* (NSF) dos Estados Unidos da América disponibilizou uma bolsa a um consórcio liderado pela Universidade de Penn State, pela Universidade de Washington, Universidade de Puerto Rico-Mayagüez, Sandia National Laboratories e 24 empresas (Lamancusa et al., 2008). O objetivo consistia em desenvolver uma "*learning factory*" e foi a partir daí que o termo foi criado, patenteado e reconhecido (Abele et al., 2015).

Proporcionaram infraestruturas com cerca de 2000 metros quadrados equipados com matéria prima, máquinas e ferramentas que permitissem a aplicação prática em projetos “*industry-sponsored design project*” desde o ano de 1995. Sendo que em 2006, a mesma *learning factory* ganhou o prémio Bernard M. Grond Prize da National Academy of Engineering pela “Inovação em Educação de Engenharia” (Abele et al., 2018).

Este modelo de ensino a estudantes, já na sua fase prematura focava-se na experiência prática que poderia ser adquirida ao aplicar os conhecimentos de engenharia de modo a resolver problemas reais, tal como poderiam ser encontrados na indústria e *design/re-design* de produtos de modo a satisfazer necessidades identificadas (Abele et al., 2015). Para além do ensino a estudantes, surgiram também LF’s direcionadas a trabalhadores das indústrias. Por exemplo no final dos anos 80, na Computer-Integrated Manufacturing *learning factory* (também chamada *Die Lernfabrik*), pretendia-se qualificar os trabalhadores da indústria na área de manufatura integrada por computadores (Abele et al., 2018).

A partir do ano de 2000, apareceu o conceito de “*teaching factory*”, que cativou interessados principalmente nos Estados Unidos (Tisch & Metternich, 2017). O surgimento do conceito de *teaching factory* tem as suas origens relacionadas com os modelos de “*Teaching Hospitals*”, no qual as universidades de medicina trabalham lado a lado com os hospitais, o que permite obter experiência em contexto real e permite melhorar as competências dos alunos (Rentzos et al., 2015).

### **Segunda fase de desenvolvimento das *learning factories***

A partir do ano de 2005, houve uma nova vaga de desenvolvimento das *learning factories*, neste caso, foi na Europa que surgiu maior interesse nesta área e consequentemente, foram inauguradas diversas *learning factories*, com diferenças ao nível do tamanho, nível de sofisticação e conteúdos de aprendizagem (Abele et al., 2015). Em 2006, a *CiP Prozesslernfabrik* da Universidade de Darmstadt foi uma das primeiras *learning factories* inauguradas nesta segunda fase de desenvolvimento, e devido ao seu potencial, contou com o apoio da Bosch, da SEW e da McKinsey Deutschland (*Prozesslernfabrik*, n.d.). Nesta fase de desenvolvimento, verificou-se um crescimento superior no que diz respeito ao número de documentos publicados no *Google Scholar*, do que na primeira fase de desenvolvimento.

### **Terceira fase de desenvolvimento das *learning factories***

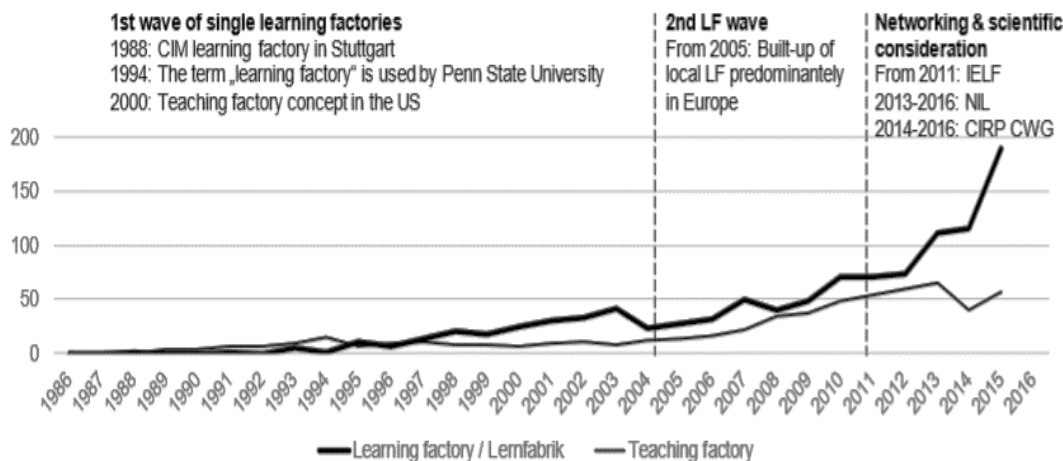
Em 2011 ocorreu a fundação da *Initiative on European Learning Factories* (IELF) através da união de diversas LF's distribuídas pela Europa e realizou-se a primeira conferência sobre *learning factories* na cidade de Darmstadt (IALF, n.d.). A partir desse momento, verificou-se um crescimento muito superior às primeiras duas fases de desenvolvimento das LF's, no que diz respeito ao número de documentos publicados no *Google Scholar*, tal como LF's inauguradas.

No ano de 2013 deu-se a fundação do *Netzwerk Innovativer Lernfabriken* (NIL), que significa rede de *learning factories* inovadoras, fundado pelo *Deutscher Akademischer Austauschdienst* (DAAD) (Abele et al., 2017).

No ano 2014 formou-se um outro grupo de trabalho denominado de *CIRP Collaborative Working Group* (CIRP CWG), que tinha como objetivo fazer pesquisas a nível global, formar um consenso sobre os termos utilizados na área, perceber o estado-de-arte do conhecimento, reforçar as ligações entre o mundo académico e a indústria e por fim, publicar um documento com os resultados desta pesquisa. Este documento foi publicado em 2017 com o seguinte título " *Learning Factories for future-oriented research and education in manufacturing.*"

No ano de 2017, a IELF alterou o seu nome para *Internacional Association of Learning Factories* (IALF), devido à mudança do paradigma de inclusão de apenas *learning factories* europeias, para inclusão de *learning factories* a nível mundial. É de notar que entre 2011 até 2016 a IELF foi presidida pelo Prof. Eberhard Abele da Universidade PTW Darmstadt e a partir daí, passou a ser presidida pelo seu colega Prof. Joachim Metternich também da mesma universidade. O Prof. Eberhard Abele e Prof. Joachim Metternich são duas referências notáveis no que diz respeito aos documentos publicados sobre LF's.

A Figura 3-4 representa resumidamente o desenvolvimento histórico das *learning factories* tendo em conta as três fases de desenvolvimento e número de documentos publicados com os conceitos de *learning factory/Lernfabrik* e *teaching factory*.



**Figura 3-4** Evolução do número de documentos publicados no Google Scholar relacionados com learning factory e teaching factory (Tisch & Metternich, 2017)

### 3.4. Morfologia das *learning factories*

Ao longo dos anos verificou-se que os autores têm publicado documentos com diferenças acentuadas no que diz respeito à morfologia das LF's, nomeadamente, as divergências nas dimensões em análise e as características associadas a essas dimensões (Abele et al., 2017; Tisch et al., 2015).

De modo a facilitar a caracterização e comparação entre diferentes LF's, a CIRP CWG e a NIL trabalharam simultaneamente no desenvolvimento e validação de um modelo consensual para a descrição da morfologia das LF's (Tisch et al., 2015). Segundo (Abele et al., 2017), os três principais objetivos deste modelo são:

- Facilitar a descrição de LF's já existentes;
- Permitir uma maior standardização do conceito de LF;
- Providenciar um ponto de partida e guia para o design e criação de novas LF's.

Este modelo apresenta 7 dimensões, pelas quais se distribuem 60 características e os seus atributos relacionados (Abele et al., 2018). O elevado grau de aceitação e universalidade deste modelo desenvolvido está relacionado ao elevado número de instituições envolvidas na sua elaboração (Abele et al., 2018; Tisch et al., 2015).

A aplicabilidade do modelo para a descrição da morfologia foi confirmada posteriormente em entrevistas qualitativas com especialistas sobre LF's de origem académica e/ou industrial fora da comunidade CIRP (Abele et al., 2017).



De seguida serão descritas brevemente as dimensões, características e atributos definidos no modelo consensual da classificação da morfologia.

### **3.4.1. Modelo operacional**

O modelo operacional de uma LF descreve o modo como uma organização garante o funcionamento sustentável das suas operações, tal como a forma de como alcançam continuamente o desenvolvimento de competências ao longo de todos os níveis hierárquicos e inovação na área tecnológica e organizacional (Abele et al., 2018; Tisch et al., 2015). Para ter sucesso, uma LF tem de garantir um modelo operacional competitivo a nível financeiro, ao nível das temáticas abordadas e ao nível do seu pessoal.

No Anexo B1 pode ser observado a dimensão de Modelo operacional das LF's com as diferentes características e atributos associados.

### **3.4.2. Alvos e propósito**

Os alvos e propósitos primários de uma LF visam o ensino educacional ou ensino vocacional, que geralmente têm associado a si uma aprendizagem direcionada para o desenvolvimento de competências e também podem servir para investigação e pesquisa de modo a fomentar a inovação (Abele et al., 2018; Tisch et al., 2015). Como alvo e propósito secundário, as LF's podem produzir para si, para outra empresa ou fazer protótipos (por exemplo para uma *start-up*), terem propósitos demonstrativos, de transferência de tecnologia e realização de testes (Abele et al., 2018; Tisch et al., 2015). Na educação e formação de trabalhadores em LF's podem se encontrar constelações de grupos heterogéneos e homogéneos, tal como diferentes tipos de indústria alvo (Abele et al., 2018; Tisch et al., 2015). Podem ser também identificados vários conteúdos alvo de aprendizagem e de investigação como Lean, eficiência de recursos, Indústria 4.0 entre outros. As LF's podem também ser alvos de investigação ou servir como facilitadores de investigação.

No Anexo B2 pode ser observado a dimensão de Alvos e propósito das LF's com as suas características e atributos associados.

### **3.4.3. Processo**

Na dimensão de processo, procede-se a uma descrição de potenciais limites do sistema de LF tendo em conta o ciclo de vida do produto, da LF, da procura, e da tecnologia

(Abele et al., 2018; Tisch et al., 2015). De seguida são descritas funções indiretas, que não estão diretamente relacionados com o processo produtivo, como gestão da cadeia de abastecimento, *procurement*, entre outros. Seguindo-se a modalidade de fluxo de material, tipo de produção (produção em massa ou outro), organização da manufatura, grau de automação, processos fabríco e tipo de tecnologia de fabríco (mecânico, químico biológico).

No Anexo B3 pode ser observada a dimensão de Processo das LF's com as diferentes características e atributos associados.

#### **3.4.4. Configuração**

Esta dimensão descreve o ambiente de aprendizagem proporcionado pelas LF's e as suas características. Distingue-se o ambiente de aprendizagem que pode ser puramente físico, virtual ou misto. As LF's em sentido restrito apresentam um ambiente fabril físico, que possibilita aos formandos aprender através da experimentação enquanto que, com a inclusão da representação do ambiente de aprendizagem através de ferramentas digitais e virtuais, levam a que sejam LF's em sentido amplo (Abele et al., 2018).

É efetuada também uma distinção das LF's tendo em conta se têm uma escala real ou escala reduzida, no que diz respeito às instalações e equipamentos fabris.

Ao nível de sistema de trabalho, podem ser caracterizadas através da utilização de postos de trabalho singulares, células de manufatura, fábrica ou rede de fábricas, facilitadores de *changeability* (mobilidade, escalabilidade, universalidade, ect.), as dimensões de *changeability* (alterações na LF ao nível do produto, tecnologia, layout, ect.), tal como a integração de tecnologias de informação antes do início, durante e no fim da produção.

No Anexo B4 pode ser observada a dimensão de Configuração das LF's com as diferentes características e atributos associados.

#### **3.4.5. Produto**

Os produtos utilizados nas LF's devem ser escolhidos com muita atenção tendo em conta os objetivos de uma LF, visto que diferentes produtos, terão diferenças ao nível do custo, da complexidade do produto e da própria LF, da duração das formações e das técnicas de fabríco aplicada nos mesmos (Abele et al., 2018; Tisch et al., 2015). Os produtos escolhidos geralmente são baseados em produtos reais que se encontram no mercado,

tendencialmente produtos físicos, que possam ser desmontados e reutilizados, apesar de existirem também casos onde se procede à venda dos produtos produzidos nas LF's. (Abele et al., 2018; Tisch et al., 2015).

Segundo a dimensão de Produto, os produtos podem ser produtos físicos ou serviços, distingue-se a forma do produto, a sua origem, facilidade de comercialização, número de diferentes produtos na LF, número de componentes do produto e propósito futuro.

No Anexo B5 pode ser observado a dimensão de Produto das LF's com as diferentes características e atributos associados.

### **3.4.6. Didática**

A dimensão Didática faz parte integral do conceito de *learning factory* e tem associado um dos propósitos primários: ensino ou formação, nesta dimensão surgem quatro questões (Abele et al., 2018):

- O que deverá ser aprendido e desenvolvido em termos de classes de competências e diferentes objetivos de aprendizagem?
- Como será aprendido tendo em conta os cenários de ensino, formato dos módulos de aprendizagem, grau de autonomia dos formandos e papel dos formadores?
- Onde será feito o processo de aprendizagem em relação ao tipo de ambiente de aprendizagem ou canal de comunicação?
- Como serão avaliadas as sessões de formação tendo em conta os níveis de desempenho e dos instrumentos de medição de desempenho? (entrevistas, ou *KPI's* das LF's, transferência para uma fábrica real, ect.).

No Anexo B6 pode ser observada a dimensão de Didática das LF's com as diferentes características e atributos associados.

### **3.4.7. Métricas da *learning factory***

Ao nível da dimensão de Métricas, é efetuada uma descrição ao nível da quantificação de diferentes características das LF's. Pode-se fazer uma distinção das LF's pelo número de participantes por sessão, número de formações distintas, a duração das mesmas, o número de participantes por ano, a capacidade utilizada e a área da LF.

No Anexo B7 pode ser observado a dimensão de Métricas das LF's com as diferentes características e atributos associados.

### **3.5. Megatendências e desafios para a indústria**

Para se poder entender melhor a necessidade da criação das LF's, terá de se perceber quais são as megatendências que afetam o mundo, e em particular, quais são as que apresentam um peso maior sobre a indústria. Uma megatendência pode ser definida como uma força que consegue mudar o mundo a longo prazo em grande escala (Statista, 2017). As organizações ao seguir e adotar essas megatendências, podem ganhar vantagens competitivas, caso contrário, podem ser considerados como grandes desafios, visto que perderão força competitiva em relação a empresas que lidam de forma adequada com essas megatendências. A análise das megatendências identifica fatores como a eficiência e a flexibilidade como fatores de diferenciação na indústria (Adolph et al., 2014). As LF's permitem aos seus formandos desenvolver competências de modo a conseguir cumprir esses fatores de diferenciação na indústria.

Os desafios que as megatendências podem trazer, criam um clima de mudança e complexidade nas indústrias, visto que para se adaptarem, têm de adquirir novos conhecimentos, qualificações e competências. Por vezes, estes processos não são fáceis, devido à resistência à mudança que os trabalhadores podem proporcionar, por terem de sair da sua zona de conforto, terem receio da sua falta capacidade, por não conseguirem visualizar os benefícios que as mudanças podem trazer ou trabalhadores mais idosos que não sabem lidar com as novas tecnologias de informação e comunicação.

Para combater os desafios e manter uma vantagem competitiva, é necessário que numa organização os recursos humanos de todos os níveis hierárquicos tenham competências necessárias para desempenhar as suas funções. Portanto, para as organizações torna-se cada vez mais importante o processo de recrutamento e desenvolvimento de competências das forças de trabalho, para mesmo em situações mais complexas, conseguirem dar respostas satisfatórias (Adolph et al., 2014).

No Anexo C1 encontram-se as megatendências encontradas na literatura, adaptado de (Adolph et al., 2014) e complementado com referências do ano 2012, 2015 e 2017.

Segundo as pesquisas analisadas, as seguintes megatendências são as têm um maior impacto na indústria de manufatura:

- Globalização;
- Redução do ciclo de vida dos produtos;
- Novas tecnologias;
- Escassez de recursos;
- *Knowledge Society*;
- Mudanças demográficas;
- Instabilidade e segurança.

### **3.6. Principais competências a desenvolver nas *learning factories***

As competências de um indivíduo relacionadas com o trabalho, podem ser desenvolvidas nas LF's. Essas competências podem ser divididas em quatro grupos, nomeadamente (Abele et al., 2017; Müller-Frommeyer et al., 2017):

- Competências socio-comunicativas;
- Competências profissionais e metodológicas;
- Competências pessoais;
- *Competências Activity and action*;

As LF's focam-se na maior parte das vezes no desenvolvimento das competências profissionais e metodológicas (Abele et al., 2018). As outras classes de competências, não são o objetivo primário de desenvolvimento de competências dos formandos nas LF's. No entanto, pode-se verificar também o desenvolvimento de outras competências, tais como as socio-comunicativas, visto que nas LF's geralmente se presta as formações a grupos de formandos, e mesmo não sendo um objetivo primário, podem levar ao desenvolvimento de características como o trabalho de equipa e gestão de conflitos.

As LF's podem proporcionar o desenvolvimento de características e ferramentas diferentes, dentro do mesmo grupo de competências, segundo (Abele et al., 2018) as LF's podem ser divididas em cinco grandes grupos, de acordo com foco das áreas de formação:

- Eficiência de energia e recursos;
- Engenharia industrial;
- Indústria 4.0;

- Lean;
- Desenvolvimento de produto.

É de notar que podem surgir LF's com subgrupos nas áreas a que se dedicam, quando se associam alguns dos cinco grupos mencionados anteriormente.

### **3.6.1. *Learning factory* com foco na área de Lean**

No ensino tradicional a filosofia Lean tem vindo a ser ensinada nas universidades ao longo dos anos, devido aos impressionantes resultados alcançados por empresas que implementam as ferramentas Lean de forma adequada. As empresas, podem obter melhorias significativas ao nível da redução de desperdícios, redução de custos, aumento da produtividade, melhoria contínua, entre outros.

Um estudo realizado pelo Instituto IBL da Universidade de Graz demonstrou que a área de foco da maioria das LF's diz respeito ao Lean (Erol et al., 2016; Micheu & Kleindienst, 2014). Em outro artigo científico é referido que a maior parte das LF's tem como foco o *Lean Manufacturing*, *Lean Administration* e eficiência de recursos (Lanza et al., 2015). Estes factos apresentados demonstram que efetivamente as LF's com o foco em Lean (LLF) têm um grande número de aderentes.

As LLF têm como objetivo ensinar os princípios e métodos Lean aos seus formandos, tanto a estudantes como a trabalhadores, ou para a realização de investigações na área Lean, para posterior incorporação de ideias inovadoras nas fábricas, com resultados comprovados pelos investigadores nas LLF. Para os investigadores, um ambiente semelhante aos que se verificam nas fábricas é de elevada importância para a validação dos seus resultados investigacionais e posterior incorporação nas empresas interessadas nas soluções desenvolvidas nas LF's (Abele et al., 2018).

Os formandos das LLF, ao contrário do que se verifica no ensino tradicional, podem aplicar ferramentas Lean num ambiente de trabalho fabril. Alguns exemplos de ferramentas Lean que podem ser aplicadas nas LLF são o diagrama de Ishikawa, *Poka-Yoke*, métodos dos *5why's*, *value stream mapping* (VSM), diagrama Spaghetti, *Kanban*, 5S, entre outros. Na Figura 3-5 encontra-se representada uma adaptação da casa Toyota, que reflete os princípios e alguns métodos aplicados no *Toyota Production System* (TPS).

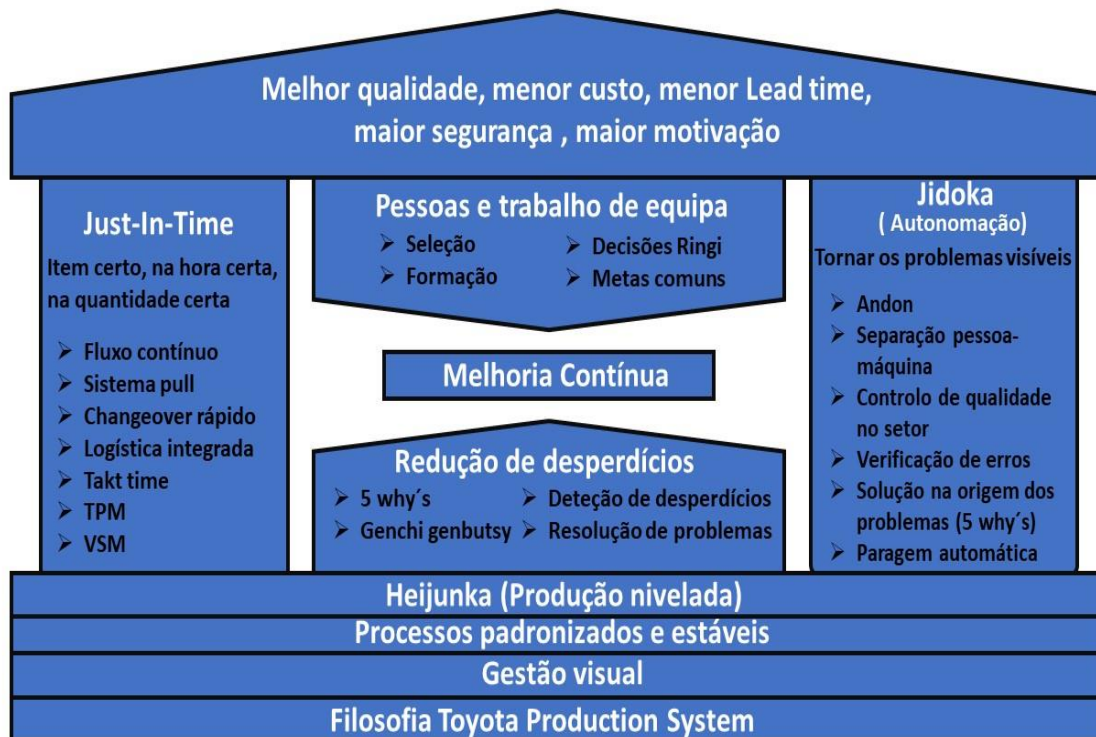


Figura 3-5 Casa Toyota. Adaptado de (Liker, 2004)

Como é possível observar na Figura 3-5, a base do TPS é constituída pela Filosofia Toyota, gestão visual, processos padronizados e estáveis, e produção nivelada (*Heijunka*). Os pilares da casa Toyota dizem respeito ao *Just-In-Time* e ao *Jidoka* (autonomação) referidos por Taiichi Ohno (Ohno, 1988). O *output* da casa Toyota está representado pelo telhado, que diz respeito a características importantes para o cliente como uma maior qualidade dos produtos, preço menor e *lead-time* mais curto. Uma maior motivação dos trabalhadores e melhores condições de segurança também se englobam no *output* da casa Toyota.

O *output* desejado é conseguido com as já referidas bases e pilares, com trabalhadores qualificados e motivados, através da redução/eliminação dos desperdícios e com pensamento direcionado para a melhoria contínua.

A *CiP Prozesslernfabrik* é um exemplo de uma LF que tem a área Lean como foco. No Anexo D1 podem ser observadas algumas características relacionadas com o ambiente de aprendizagem, com os produtos para montagem, tal como algumas ofertas educacionais que podem ser frequentadas na *CiP Prozesslernfabrik*.

No Anexo D2 podem ser visualizar os equipamentos disponíveis na *CiP Prozesslernfabrik* e o seu *layout*.

A abordagem de ensino da *CiP Prozesslernfabrik* engloba três etapas distintas, começando pelo ensino dos princípios básicos do Lean, seguindo se a aprendizagem dos elementos chave de Lean, e por fim o ensino de cultura Lean. Na Figura 3-6 encontram-se representadas as três etapas de ensino de Lean na *CiP Prozesslernfabrik* com os respetivos tópicos e ferramentas Lean a trabalhar.

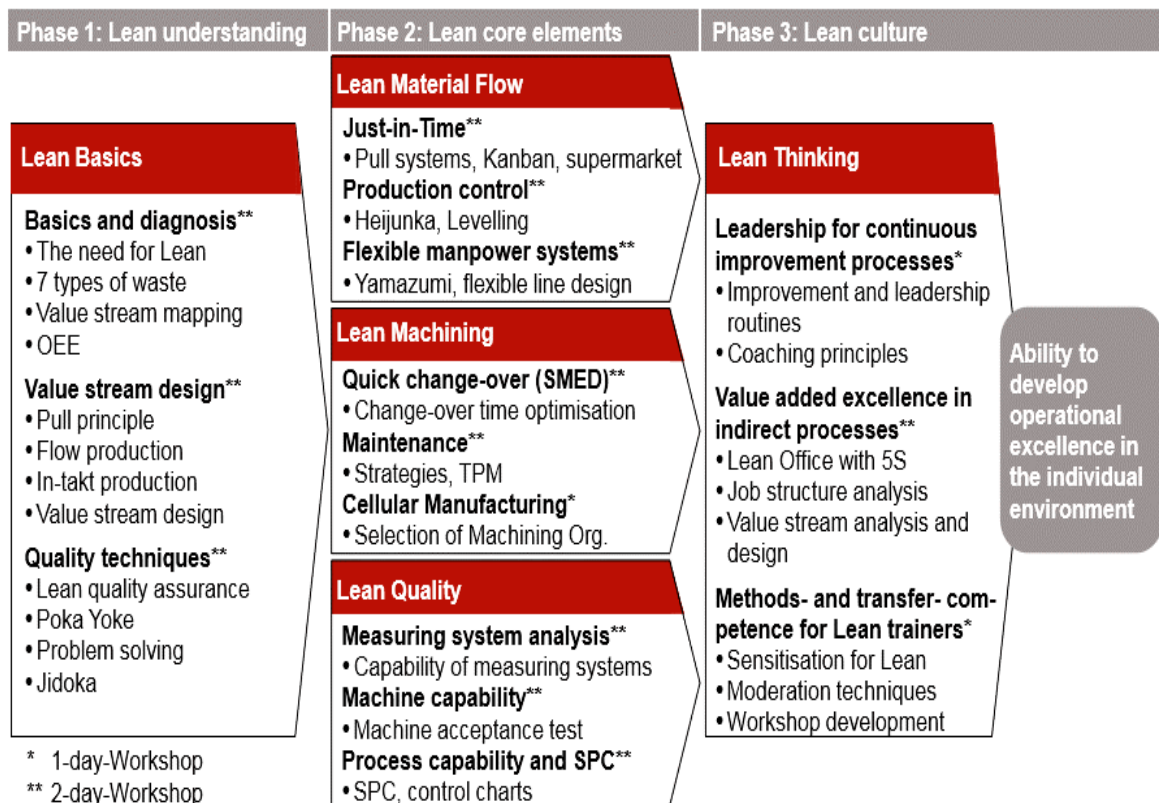


Figura 3-6 As três etapas de ensino de Lean na *CiP Prozesslernfabrik* (Abele & Metternich, 2015)

Na *Lean Learning Factory* da universidade de Split, adotam também uma abordagem de três etapas para ensinar Lean aos formandos. Esta *learning factory* consiste num conceito didático que engloba aprendizagem experimental e baseada na resolução de problemas através da utilização de ferramentas e metodologias Lean, visando criar uma filosofia de melhoria contínua (Veza et al., 2015).

### 3.6.2. *Learning factory* com foco na área de indústria 4.0

O conceito de indústria 4.0 surgiu na Alemanha e inclui o uso de novas tecnologias de informação e comunicação que aceleram a implementação de *cyber-physical*



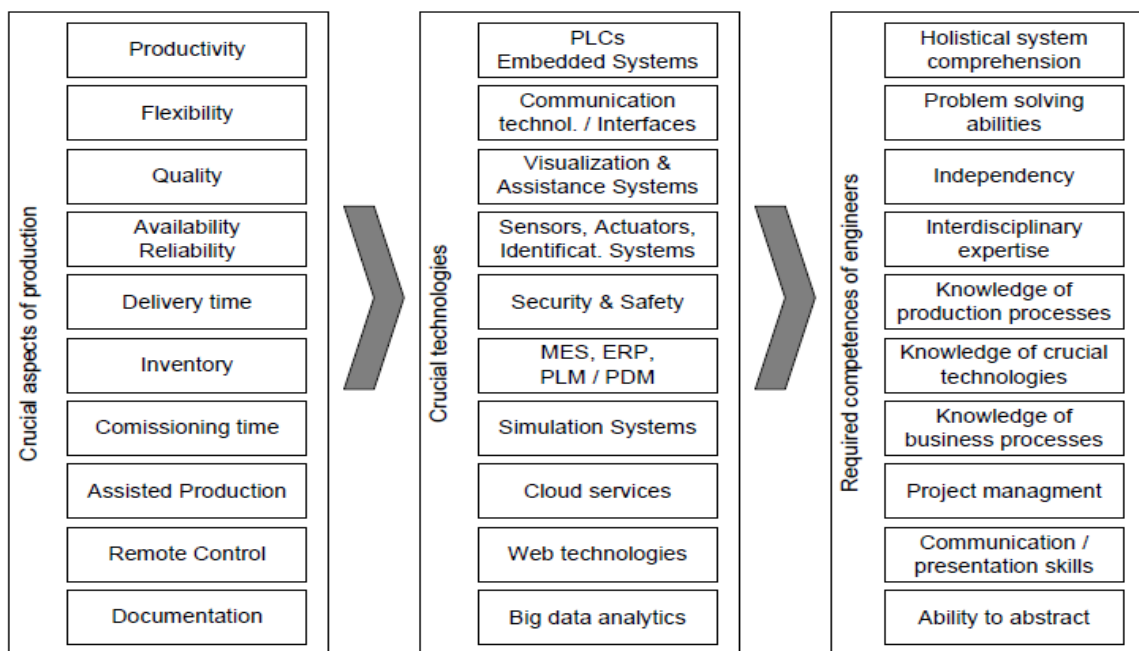
*systems* na indústria de manufatura (Prinz et al., 2016). Tecnologias como a *Internet of things*, *industrial internet*, *Cloud-based Manufacturing* e *Smart Manufacturing* abordam essa visão futura de produção facilitada por digitalização e são frequentemente associados à quarta revolução industrial (Erol, et al., 2016). Estas novas tecnologias estão associadas às máquinas, materiais, produtos, linhas de produção e processos dentro e fora da organização, proporcionando uma cadeia de valor ágil, interligada e inteligente (Erol et al., 2016).

A indústria 4.0 está a tornar-se cada vez mais importante para a indústria, podendo ser uma fonte importante de vantagem competitiva. A área de indústria 4.0, apesar do seu potencial, apresenta desafios de implementação nas organizações. Apesar de muitas tecnologias de informação e comunicação já se encontrarem disponíveis, ainda existem dificuldades de implementação pela falta de *know-how* das organizações e dos seus trabalhadores (Prinz et al., 2016).

A mudança do panorama de produção em massa para produção customizada resulta em desafios relacionados com o aumento da produtividade, aumento da qualidade e da flexibilidade, tal como a redução do *lead-time* e dos *stocks* (Simons et al., 2017). Estes desafios podem ser abordados com a indústria 4.0. Os trabalhos a serem executados vão passar de uma natureza manual para uma natureza de monitorização e resolução de problema, levando a que os trabalhos monótonos serão cada vez menos frequentes (Enke et al., 2018; Prinz et al., 2016). Por isso os futuros engenheiros e os trabalhadores têm de ser preparados nesta área.

As LF's também podem ser utilizadas para o ensino, formação e investigação na área da indústria 4.0, de modo a poder munir as organizações de manufatura com tecnologias inovadoras e *know-how* suficiente para a sua implementação, manutenção, utilização das novas tecnologias pelos trabalhadores e funcionamento eficiente das mesmas.

Tendo em conta a evolução do panorama de produção, as novas tecnologias e os desafios lançados para os trabalhadores atuais e futuros da indústria 4.0, verifica-se a necessidade de desenvolver as competências profissionais e metodológicas, competências sociais e competências pessoais dos trabalhadores (Simons et al., 2017). Estes aspetos de produção, tecnologia e competências cruciais na indústria 4.0 podem ser observados na Figura 3-7.



**Figura 3-7** Aspectos da produção, tecnologias e competências necessárias (Simons et al., 2017)

A indústria 4.0 requer instalações para a investigação, formação e transferência de conhecimento para as indústrias, tendo em conta as dificuldades referidas nesta subsecção, é de extrema importância a criação de LF's com foco na indústria 4.0.

Através de um inquérito *online* com 345 participantes de empresas alemãs e 38 entrevistas a especialistas do meio académico e industrial, surgiram duas conclusões em relação às futuras competências dos trabalhadores na indústria 4.0 (Abele et al., 2018):

1. Os resultados indicam que as pequenas e médias empresas não têm de todo a noção quais serão as competências mais importantes para o futuro na indústria 4.0, enquanto que as grandes empresas conseguiram indicar de forma mais concreta quais as competências mais importantes.

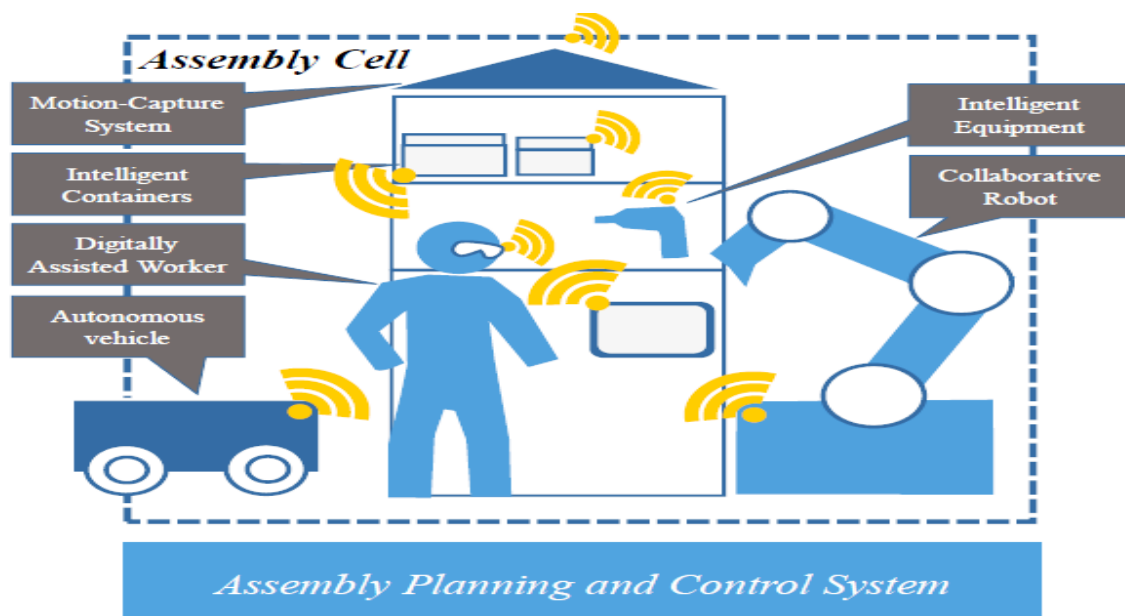
2. Segundo o inquérito, as competências identificadas com maior frequência foram o pensamento e ação interdisciplinar, liderança, bom conhecimento do processo, trabalhar na inovação dos processos, resolução de problemas e otimização. Estas competências podem ser desenvolvidas através do uso de LF's, num ambiente de aprendizagem e teste sem riscos.

Verifica-se que não existe um modelo de competências unânime para a indústria 4.0 dado as diferenças nas competências apresentadas em artigos como (Abele et al., 2018), (Prifti et al., 2017) e (Simons et al., 2017).

A Universidade Técnica de Viena abriu em 2015 a Industry 4.0 Pilot Factory (I40PF) que é uma LF com foco na indústria 4.0. Segundo Erol et al., 2016, a I40PF tem como objetivo:

- Investigação na área de “*Smart Production*”.
- Providenciar às pequenas e médias empresas acesso a novas tecnologias e tecnologias de informação e comunicação (têm poucos recursos financeiros e humanos para isso).
- Produção de pedidos, por exemplo para auxiliar *start-up*'s que necessitem de competências tecnológicas avançadas para montar ou produzir os seus protótipos ou lotes pequenos.
- Ensino superior a estudantes.
- Formação através de workshops práticos e seminários a trabalhadores de indústria.

A I40PF foi construída num conceito *human centered cyber-physical production system* para uma produção de baixo volume com alta variedade. A I40PF inclui um *cyber-physical assembly system*, *cyber-physical adaptive logistics system* e *cyber-physical manufacturing system* (Technische Universität Wien, n.d.). O sistema *cyber*-físico de montagem da I40PF pode ser observado na Figura 3-8.



**Figura 3-8** Sistema *cyber*-físico de montagem na I40PF (Erol et al., 2016)

O trabalhador será munido com um sistema de assistência digital baseado em tecnologia de realidade virtual, que permitirá fornecer informação relacionada com o

trabalho de modo ao trabalhador executar corretamente as suas tarefas. (Erol et al., 2016; Technische Universität Wien, n.d.).

O processo de montagem é monitorizado por diversos sensores e ultrassom, que em caso de erro do trabalhador, lhe disponibilizará a informação que lhe permite corrigir o erro (Erol et al., 2016). A nível ergonómico, situações relacionadas com uma má postura do operador, será alvo de análise entre sinergias relacionado entre a produtividade e ergonomia e de fornecer informação para melhorar as condições ergonómicas (Erol et al., 2016; Technische Universität Wien, n.d.).

Os trabalhadores serão também auxiliados através de sistemas robóticos colaborativos e sensíveis que adequam o design do posto de trabalho de acordo com os dados recolhidos de modo a assegurar uma execução do trabalho com altos níveis de produtividade e ergonomia (Erol et al., 2016).

Todos os sistemas tecnológicos estão conectados a um sistema de controlo de qualidade, as ferramentas inteligentes recebem por exemplo informações em relação à força de aperto para cada tarefa, sendo ajustado automaticamente, levando a que o tempo das mudanças de *setup* seja drasticamente reduzido (Technische Universität Wien, n.d.). Os produtos são montados em sistemas de transporte automáticos sem condutor e são dirigidos por sistemas de localização consoante as necessidades (Technische Universität Wien, n.d.).

Um fluxo de informação bilateral entre o planeamento virtual e o ambiente físico de trabalho possibilita projetos de investigação entre parceiros industriais e a I40PF. Outro foco estará também na localização dos bens, veículos de transporte, *stocks* e produtos de maneira a existir uma maior transparência, este resultado pretendido pode ser alcançado com tecnologias RFID (Erol et al., 2016).

### **3.6.3. Learning factory com foco em Lean 4.0**

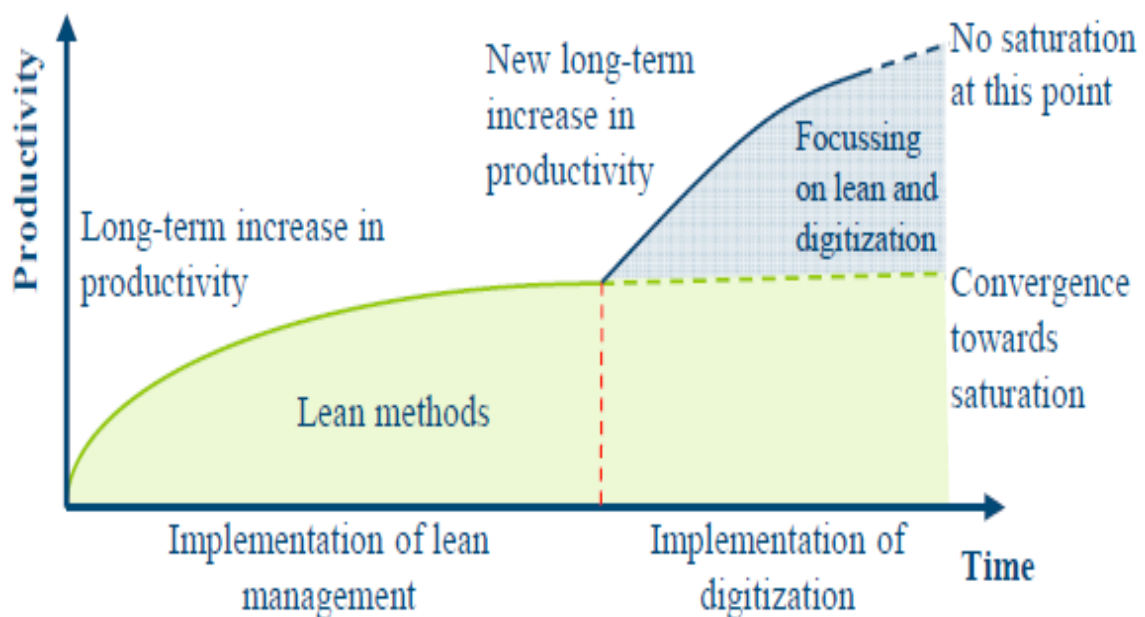
Ao combinar o foco de uma *learning factory* Lean com o foco de uma *learning factory* indústria 4.0 obtém-se uma *learning factory Lean 4.0* (LFL4.0). Os sistemas de produção atualmente baseiam-se na filosofia de melhoria contínua através de Lean, mas devido à complexidade do mercado e da sua evolução, surge a necessidade de incorporar tecnologias da indústria 4.0 nos sistemas de produção. A complexidade dos sistemas produtivos irá aumentar devido à integração da indústria 4.0 nos sistemas Lean, desta forma,

é necessário o desenvolvimento de competências na área Lean e indústria 4.0 com auxílio das LFL4.0 (Enke et al., 2018).

A produção Lean e a indústria 4.0 têm vários pontos em que não estão alinhados, na produção Lean pretende-se a estabilidade e produtos estandardizados, enquanto que na indústria 4.0 pretende-se processos que se controlam a si próprios e que tomem ações antes da casualidade (Enke et al., 2018). O princípio *andon* (sequência para encontrar e resolver problemas, no qual a linha de produção pode ser parada por qualquer pessoa que encontre o erro) é descartado em detrimento de uma linha de produção desvinculada onde qualquer operação acontece individualmente (Enke et al., 2018).

Um pré-requisito para garantir um *boost* de produtividade significativo com a introdução da digitalização (indústria 4.0) diz respeito ao domínio do pensamento Lean e a sua aplicação prática nas organizações (Enke et al., 2018; Prinz et al., 2018).

Os benefícios ainda não conseguem ser quantificados com exatidão, mas é unânime que ao integrar a indústria 4.0 num sistema Lean perfeitamente dominado, podem ser obtidos muitos benefícios como mostra a Figura 3-9 (Prinz et al., 2018).



**Figura 3-9** Aumento de produtividade com Lean e posterior integração de Indústria 4.0 (Prinz et al., 2018)

Existem desafios na produção que podem ser abordados através da aplicação de ferramentas Lean, através de tecnologias de Indústria 4.0 ou por ambas em simultâneo. Estes casos podem ser observados no Anexo E1.

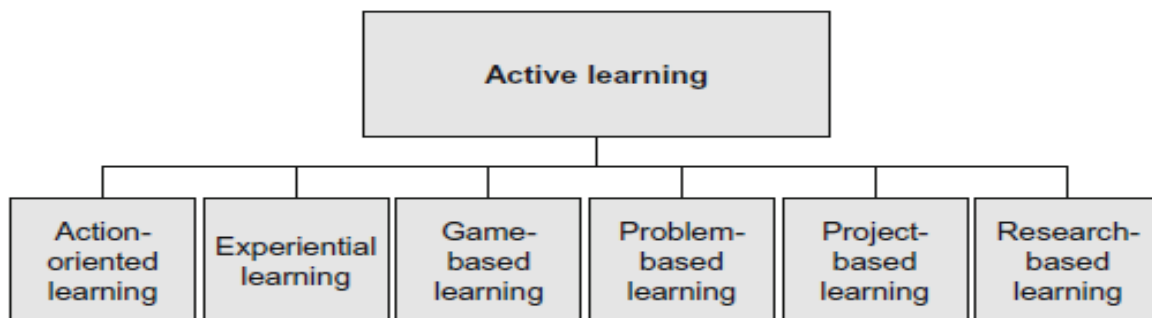
Numa LFL4.0 o foco das formações geralmente não se debruça detalhadamente na área Lean, pretende-se que os seus participantes já tenham bases de Lean, para se poderem focar mais no desenvolvimento das competências da Indústria de 4.0 (Prinz et al., 2018).

Tal como se verificou anteriormente na subsecção 3.6.1, verifica-se que nesta LFL4.0 (também pertencente à *CiP Prozesslernfabrik*) existe uma abordagem semelhante, baseada em três etapas distintas. No Anexo E2 podem ser observadas as etapas e os tópicos abordados pela *CiP Prozesslernfabrik* no âmbito das formações Lean 4.0.

### 3.7. Formas de aprendizagem de *active learning*

O *active learning* diz respeito a uma gama de estratégias de ensino na qual os estudantes são participantes ativos durante o tempo das aulas/formação, pode também envolver trabalho individual ou períodos de reflexão (Center for Educational Innovation, n.d.) Estas abordagens podem ser de curta duração, como em casos de atividades simples ou podem também ser mais complexas e demoradas como em casos de estudo ou simulações.

No Anexo F1 podem ser observadas algumas formas de *active learning* e o seu grau de complexidade associado. No que diz respeito ao ensino na área de engenharia, as formas mais importantes de *active learning* encontram-se presentes na Figura 3-10.



**Figura 3-10** Formas de aprendizagem de *active learning* mais importantes na área de engenharia (Abele et al., 2018)

### 3.8. Influencia das *learning factories* no sucesso de ensino

Num caso de estudo efetuado por (Glass et al., 2018), estudou-se a influência nos resultados obtidos num exame, tendo em conta se os alunos frequentaram ou não frequentaram uma LF. Os resultados deste estudo encontram-se na Figura 3-11. É possível

verificar que segundo estes resultados, a frequência das LF's em média é benéfica no que diz respeito à cotação obtida na prova de todas as ferramentas trabalhadas na LF.

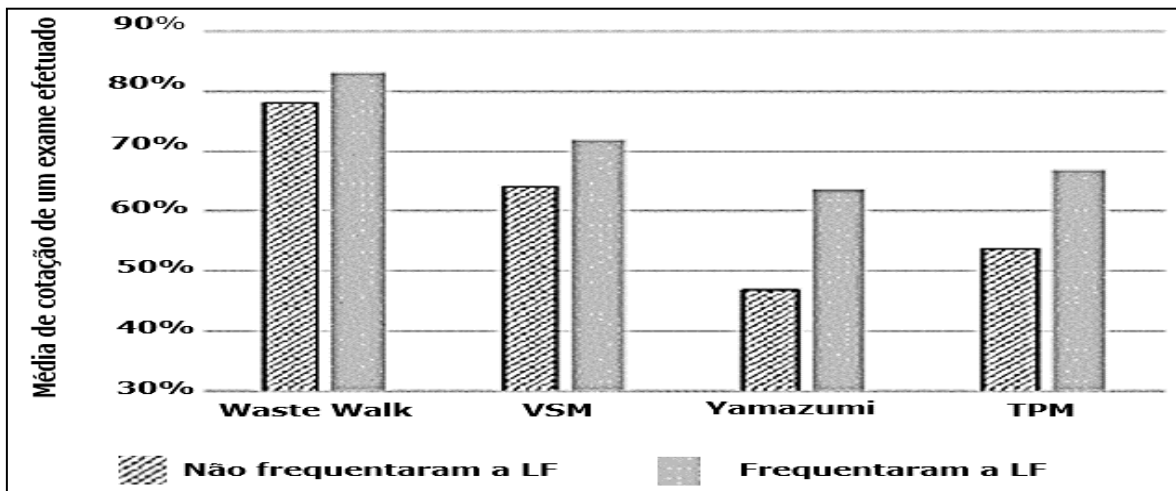


Figura 3-11 Média de cotação de alunos, obtidas num exame tendo em conta a frequência ou não frequência de uma LF. Adaptado de (Glass et al., 2018)

### 3.9. Potencial e limitações das *learning factories*

As LF's apresentam muito potencial e têm tendência de crescerem no que diz respeito ao número de LF's existentes, nas áreas abrangidas e na qualidade dos conteúdos de aprendizagem. Apesar disso, existem também algumas limitações em relação às LF's. De seguida serão apresentados os potenciais e limitações das LF's.

#### 3.9.1. Potencial das *learning factories*

As LF's apresentam diversas vantagens tais como:

- Desenvolvimento das competências dos formandos ao enriquecer a sua formação com uma vertente prática em contexto realístico;
- Desenvolvimento de *soft-skills* (mesmo não sendo o objetivo primário);
- Providenciar um meio de aprendizagem e investigação sem pressões de custo ou de produtividade ao contrário do que se verifica numa organização (Abele et al., 2018; Kreimeier et al., 2014);
- Maior interiorização dos conhecimentos e competências (segundo o cone de Dale presente na Figura 3-2, as pessoas lembram-se de 90% daquilo que fazem em contraste com apenas 10% daquilo que leem ou 20% daquilo que ouvem);
- Maior motivação dos formandos e investigadores das LF's (Blume et al., 2015; Tisch & Metternich, 2017);

- Podem aproximar as relações entre as instituições académicas e a indústria de modo a que as LF's abordem temáticas que sejam necessárias no mercado de trabalho (Tisch et al., 2015);
- Demonstração de ferramentas e tecnologias inovadoras desenvolvidas por investigadores (Tisch & Metternich, 2017);
- Ponte de ligação entre investigação e transferência de soluções inovadoras para a indústria (Abele et al., 2017; Tisch & Metternich, 2017).
- Pode contribuir para o desenvolvimento competitivo de uma nação (Abele et al., 2018).

### **3.9.2. Limitações das *learning factories***

Apesar do grande potencial do conceito das LF's descrita na subsecção 3.9.1 , existem também algumas limitações que são apontadas a esta forma inovadora de ensino, formação e investigação. Podem-se encontrar limitações das LF's ao nível da (Abele et al., 2018; Dassisti & Semeraro, 2017; Tisch & Metternich, 2017):

- Eficiência;
- Escalabilidade;
- Mobilidade;
- *Mapping ability of issues*;
- Recursos necessários.

Ao nível da eficiência das LF's verifica-se uma lacuna no que diz respeito à avaliação da eficiência das mesmas no desenvolvimento de competências. Esta lacuna, deverá ser preenchida com uma avaliação da eficiência do desenvolvimento de competências e reflexão dos resultados (Abele et al., 2018; Tisch & Metternich, 2017).

Analisando a limitação de escalabilidade das LF's, verifica-se que comparando com formas tradicionais de ensino, atualmente o fator de escalabilidade é reduzido (Abele et al., 2018; Tisch & Metternich, 2017). Como exemplo desta limitação, pode-se fazer uma comparação com o ensino superior, onde um professor pode dar uma aula a centenas de alunos, enquanto que nas LF's geralmente são necessários dois formadores para um número máximo de 10 a 15 indivíduos por sessão (Abele et al., 2018; Tisch & Metternich, 2017).

No que diz respeito à limitação de mobilidade das LF's, verifica-se que LF's com ambiente de aprendizagem físico têm uma localização fixa e consequentemente apenas

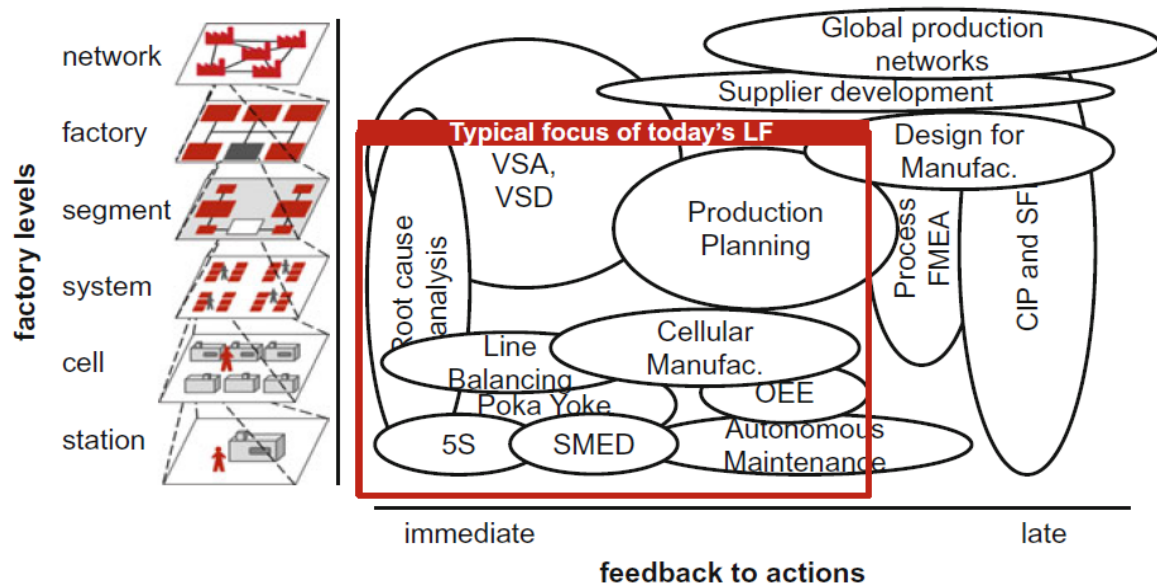


podem prestar o serviço nessa localização específica, logo pode existir uma grande limitação ao nível da acessibilidade do público alvo que se encontra distante (Abele et al., 2018; Tisch & Metternich, 2017). Uma forma de combater essa limitação, diz respeito à introdução da digitalização e tecnologias de informação e comunicação, que permitirão a que as LF's consigam prestar o seu serviço mesmo a indivíduos que não têm possibilidade de se deslocar pessoalmente às LF's.

Uma das grandes limitações de LF's diz respeito às *mapping ability issues*, ou seja, não conseguirem reproduzir a totalidade dos desafios encontrados na indústria (Abele et al., 2018). Este problema de não poder reproduzir muitos tópicos específicos de uma LF pode ser designado de *content- and object-related mapping ability issue* (Abele et al., 2017; Tisch & Metternich, 2017).

Teoricamente as LF's deveriam ter associadas desafios a todos os níveis de fábrica, desde toda uma rede de fábricas até a postos de trabalho individuais. Surgem então os *space- and cost-related mapping limitations*, principalmente nos níveis de fábrica superiores (Tisch & Metternich, 2017).

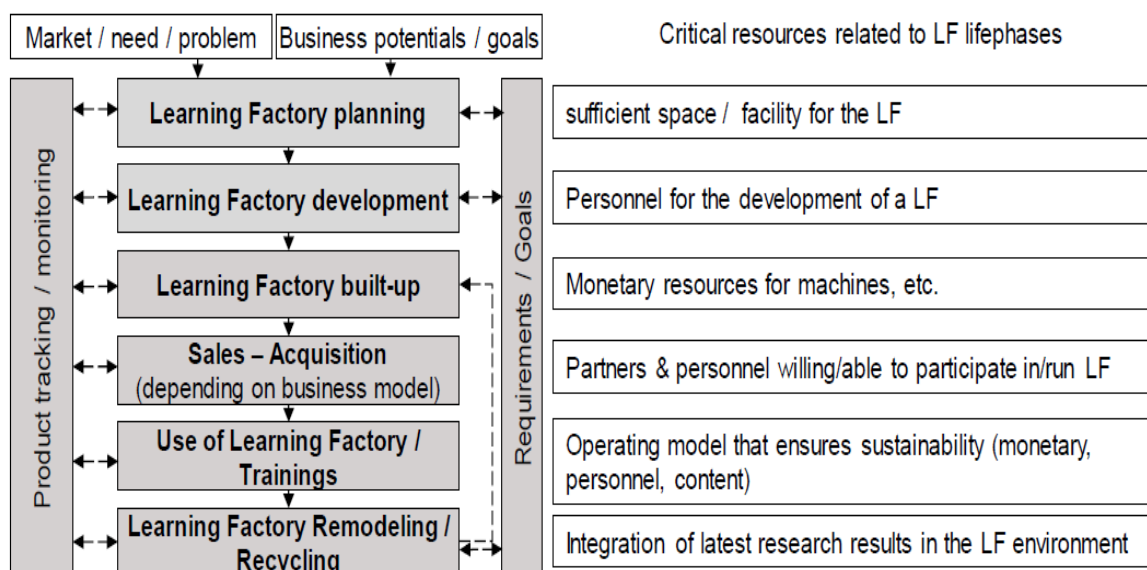
A última limitação dentro das *mapping ability issues* diz respeito às *time-related mapping ability issues* que estão relacionadas com *loops* de *feedback* longos e que não permitem que certas ferramentas e métodos utilizados no mundo industrial possam ser reproduzidos em termos de LF (Abele et al., 2018; Tisch & Metternich, 2017). Por exemplo durante a elaboração da parte prática desta dissertação, verificou-se tempos superiores a 16 horas para a impressão 3D de um gabarito de montagem de uma peça. Este tempo de espera dificulta a sua aplicação em termos de LF em formações de curta duração. Na Figura 3-12 podem ser observadas algumas ferramentas e métodos utilizados na indústria a todos os níveis de fábrica e o tempo de *feedback* de cada uma.



**Figura 3-12** Limitações de espaço e tempo relacionadas à reprodução de ferramentas nas LF's (Abele et al., 2018)

Por fim, a limitação de recursos necessários nas diferentes fases do ciclo de vida das LF's tem impedido a construção de um número ainda maior de LF's, visto que as fases de conceptualização, construção e operação das LF's são consumidoras intensivas de recursos (Abele et al., 2018).

Qualquer falta de recursos mencionados previamente pode levar a grandes limitações (Abele et al., 2017; Tisch & Metternich, 2017). Na Figura 3-13 podem ser observados os recursos requeridos pelas LF's ao longo do seu ciclo de vida.



**Figura 3-13** Recursos requeridos pelas LF's ao longo do seu ciclo de vida (Tisch & Metternich, 2017)

### 3.10. Ferramentas Lean aplicadas na parte prática

#### 3.10.1. Sistema *Kanban*

##### 3.10.1.1. Princípios básicos do sistema *Kanban*

O sistema *Kanban* teve origem no Sistema de Produção da Toyota (TPS) no final dos anos 40 e inícios dos anos 50, tendo sido desenvolvido por Taiichi Ohno para controlar a produção entre processos e para implementar o *Just-in-Time* (JIT) (Gross & McInnis, 2003). Antes da filosofia de produção JIT, as empresas tinham o hábito de produzir em excesso, o que acabaria por gerar desperdícios de sobreprodução tal como todos os seus custos e problemas associados (Chiarini, 2012).

O sistema *Kanban* é auxiliado pela standardização das tarefas, redução dos tempos de *setup*, melhoria nas atividades, autonomação e nivelamento da produção (Monden, 2012). Quando não se verifica estas características, pode ser difícil implementar o JIT, mesmo tendo um sistema *Kanban*.

Geralmente um *Kanban* é formado por uma folha de papel, plástico ou metal, portanto geralmente um cartão físico (Monden, 2012; Thürer et al., 2016).

*Kanban* é um termo japonês que significa “cartão” ou “etiqueta”, mas não deve ser considerado apenas isso, visto que uma marcação no chão, uma caixa vazia ou uma prateleira vazia também podem dar um sinal que alerta os trabalhadores. Na Figura 3-14 pode ser observado um exemplo de *Kanban* usado na Toyota para a receção de componentes da Ohashi Iron Works (Ohno, 1988).

Time of Delivery <b>10:30</b>	Storage Area <b>A</b> <b>1-1</b>	Toyota Motors Headquarters
Ohashi Iron Works Store Shelf no. <b>1 - BOTTOM</b>	Item No. <b>53018-60011</b>	Identification Used in <b>FJ</b> Car Type (1)
	Item Name <b>RAD S/TANY RADIATOR PRESS LH</b>	Box Type <b>SPECIAL</b> Box Capacity <b>30</b>
	<b>21</b> Parts-ordering Kanban	<b>50</b>

Figura 3-14 *Kanban* usado na Toyota para receção de componentes da Ohashi Iron Works (Ohno, 1988)

Como pode ser observado na Figura 3-14, o *Kanban* em questão tem informações úteis como o tempo de entrega, lugar de armazenamento, codificação e nome do componente, capacidade da caixa, entre outros. Os *Kanbans* são levados de um processo/posto de trabalho para um que lhe anteceda, desta forma, permitem a conexão de processos na fábrica levando a um melhor controlo das quantidades requeridas para a produção (Monden, 2012).

O desperdício de sobreprodução e altos níveis de stock podem ser gerados em sistemas produtivos que operam numa filosofia *Push*, visto que nos dias que decorrem, existem várias alterações no plano de produção e a procura no mercado tem um certo grau de imprevisibilidade associado (Chiarini, 2012).

O sistema *Kanban* foi projetado inicialmente para a cadeia de abastecimento interna da TPS, Taiichi Ohno identificou 6 funções e 6 regras para um bom funcionamento do sistema *Kanban* (Ohno, 1988) que podem ser observadas na Tabela 3-1:

**Tabela 3-1** Funções e regras para um bom funcionamento de um Sistema Kanban (adaptado de Ohno,1988)

<b>Função de <i>Kanban</i></b>	<b>Regras de uso do sistema <i>Kanban</i></b>
1-Providencia informação de recolha ou transporte.	1-O processo posterior recolhe o número de itens indicados pelo <i>Kanban</i> no processo anterior.
2-Fornece informação de produção.	2-O processo anterior apenas produz os itens na quantidade e na sequência indicada pelo <i>Kanban</i> .
3-Previne sobreprodução e transporte excessivo.	3-Nenhum item é produzido ou transportado sem um <i>Kanban</i> .
4-Serve como ordem de produção anexada aos bens.	4-Anexar sempre um <i>Kanban</i> aos bens.
5-Impede produções defeituosas, identificando qual o processo que produz esses defeitos.	5-Produtos defeituosos não são enviados para o processo seguinte. O resultado são produtos finais 100% sem defeito.
6-Revela problemas existentes e estabelece um controlo de stock/inventário.	6-Reduzir o número de <i>Kanbans</i> aumenta a sua sensibilidade.

### **3.10.1.2. Vantagens e desvantagens do sistema *Kanban***

Segundo (Gross & McInnis, 2003) e (Chiarini, 2012), após a implementação de um sistema *Kanban* com sucesso, as empresas podem verificar benefícios no que diz respeito à melhoria da sua produtividade e redução de custos, associados à:

- Redução do stock/inventário e dos seus custos associados;
- Melhora os fluxos;
- Previne a sobreprodução;
- Minimiza o risco de obsolescência de stock/inventário;
- Melhora a capacidade de resposta a mudanças na procura;
- Cria um planeamento visual e gestão visual do processo;
- Permite controlo ao nível operacional através dos operadores;
- Produção em lotes pequenos de produtos variados.

No que diz respeito às desvantagens do uso do sistema *Kanban*, podem ser identificados:

- Perda dos cartões ou danificação dos mesmos;
- Uma grande variação de procura pode ser difícil de acompanhar pelo sistema *Kanban*, visto que leva à alteração dos cartões *Kanban* ou das próprias caixas.

### **3.10.1.3. Processo de implementação de um sistema *Kanban* numa organização**

No que diz respeito ao processo de implementação de um sistema *Kanban* numa empresa, segundo (Gross & McInnis 2003), devem ser seguidos os seguintes sete passos:

1. Proceder a uma recolha de dados;
2. Determinar o número de caixas e quantidades dos componentes;
3. Design de *Kanban*;
4. Providenciar formação a todos os intervenientes;
5. Começar a operar com o sistema *Kanban*;
6. Manter o sistema e efetuar auditorias;
7. Melhorar o sistema *Kanban*.

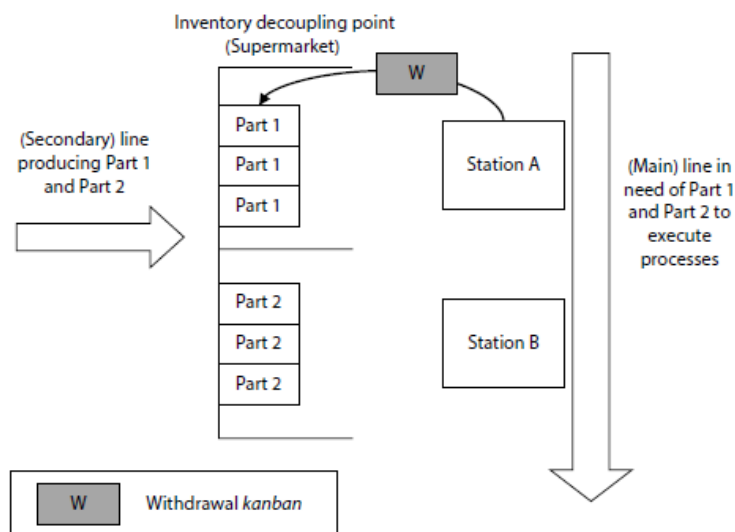
### **3.10.1.4. Funcionamento do Sistema *Kanban* na cadeia de abastecimento interna - *WIP Kanban System***

Tendo em conta as regras de uso do sistema *Kanban* referidas na Tabela 3-1, o processo posterior vai ao processo anterior para recolher os materiais necessários e de seguida, o processo anterior irá produzir e repor a quantidade de bens retirada pelo operador

do posto posterior. É de elevada importância que se faça um balanceamento das cargas de trabalho para obter estações de trabalho estáveis, ou seja, que se tenha um *input* de trabalho igual ao *output* de trabalho, visto que caso isto não se verifique, pode haver falta de trabalho nos postos mesmo havendo capacidade de processamento nas estações (Thürer et al., 2016).

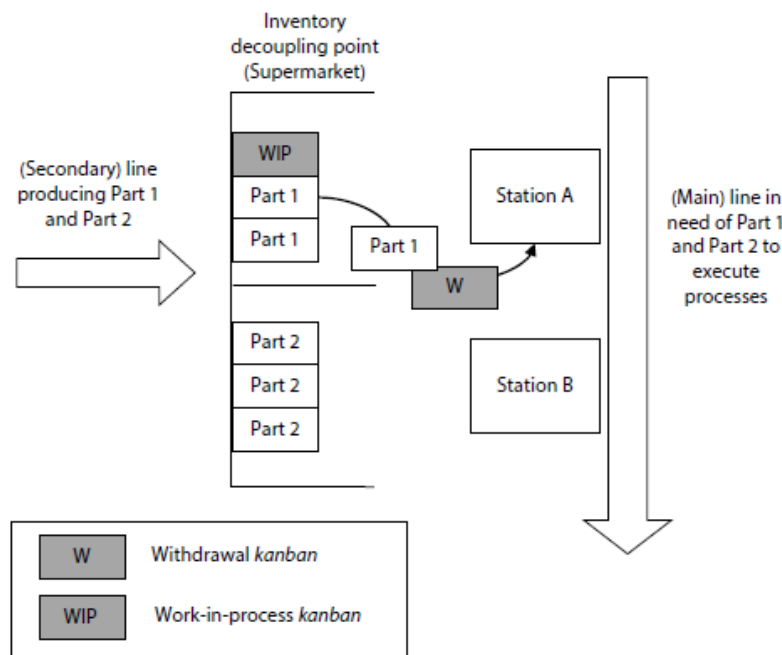
Segundo a terceira regra de uso de sistema *Kanban*, não pode ser produzido nem recolhido nenhum bem sem um *Kanban* e pela quarta regra, todos os bens têm de ter um *Kanban* associado. Portanto quando um componente é recolhido no supermercado para ser usado num processo seguinte, terá de se comparar o *Withdrawal Kanban* com o *WIP Kanban* (Monden, 2012; Thürer et al., 2016). Em caso de serem concordantes, o bem seguirá com o *Withdrawal Kanban* para o posto seguinte, enquanto que o *WIP Kanban* servirá para requerer a produção do mesmo bem na mesma quantidade para ser repostado no supermercado (Monden, 2012; Thürer et al., 2016).

Na Figura 3-15 verifica-se a deslocação de um *Withdrawal Kanban* vindo do posto A em direção ao supermercado para recolher o componente 1.



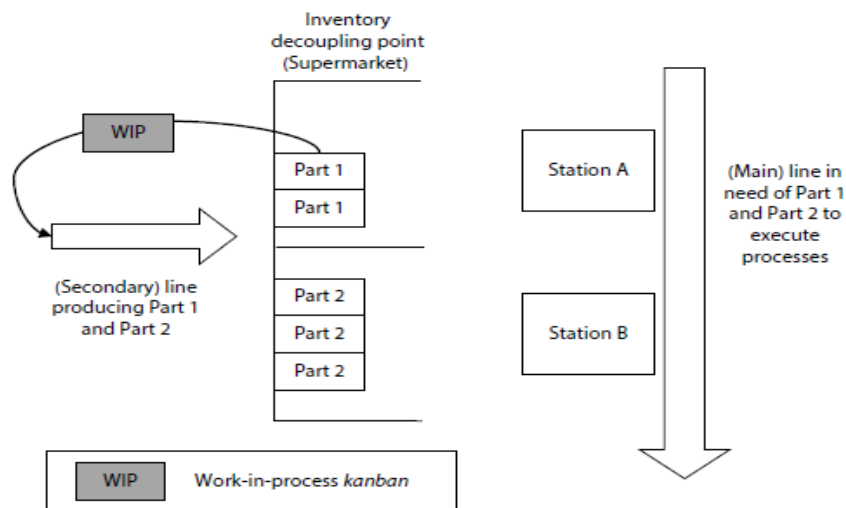
**Figura 3-15** *Withdrawal Kanban* vindo da estação A em direção ao supermercado (Thürer et al., 2016)

Na Figura 3-16 pode ser observado um esquema onde o *Withdrawal Kanban* segue para a estação A em conjunto com a peça 1, após a verificação da concordância entre *Withdrawal Kanban* e *WIP Kanban*.



**Figura 3-16** *Withdrawal Kanban* associado à peça 1 em deslocação para a estação A (Thürer et al., 2016)

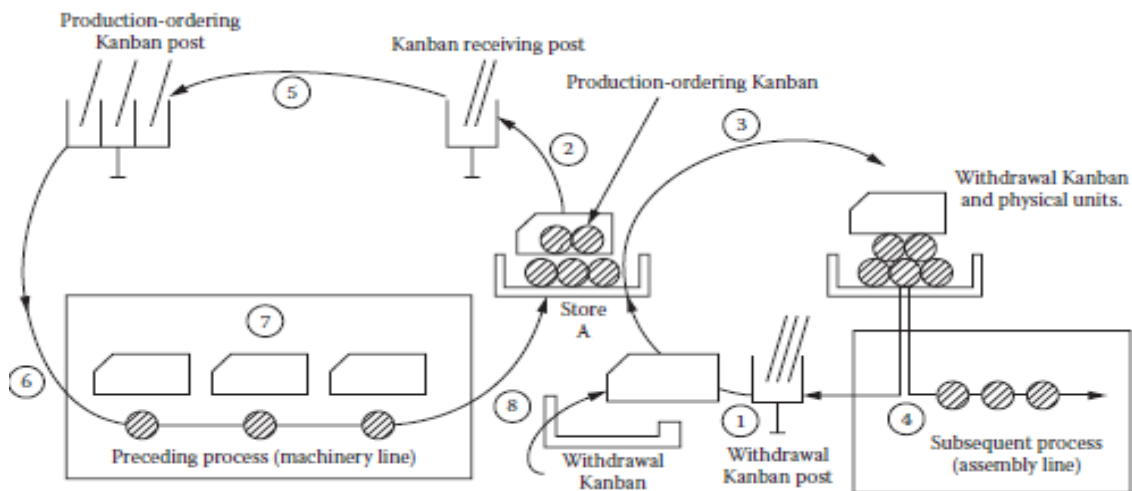
O *WIP Kanban* irá ser levado ao posto anterior ao supermercado para ser produzido e repostado no supermercado nas mesmas quantidades que foi consumido como demonstra a Figura 3-17.



**Figura 3-17** *WIP Kanban* dirige-se ao posto/linha anterior para produzir e repor o componente consumido pela estação posterior ao supermercado (Thürer et al., 2016)

Na teoria é desejado que se elimine o *stock* dos componentes (ou produtos intermédios), mas neste caso de aplicação prática de *Kanban*, é necessário manter alguns níveis de *stock*. Caso isto não aconteça, quando surge a necessidade de um operador ir com um *Withdrawal Kanban* ao supermercado para recolher um certo componente, o componente não estaria disponível, logo criando desperdícios de espera e não aproveitamento da

capacidade produtiva do processo subsequente. Na Figura 3-18 pode ser visualizado o funcionamento de um sistema *Kanban* de forma completa e de seguida, a descrição dos oito passos representados.



**Figura 3-18** Representação do funcionamento de um sistema *Kanban* completo (Monden, 2012)

1. O *Withdrawal Kanban* é levado desde o posto de receção *Withdrawal Kanban* com as caixas vazias até ao *store A* (supermercado A).
2. Quando o operador recolhe um componente do supermercado A, ele remove o *WIP Kanban* associado ao componente e coloca-o no posto de receção de *Kanban*, deixando as caixas vazias no sítio predefinido.
3. O operador tem de comparar cuidadosamente o *WIP Kanban* no componente do supermercado A com o *Withdrawal Kanban* que trouxe consigo e apenas levar o componente caso os *Kanbans* pertencerem ao mesmo componente. Por cada *WIP Kanban* que o operador remove a um componente no supermercado A, é colocado um *Withdrawal Kanban* no seu lugar no componente.
4. Quando o componente é usado na linha de montagem no ponto 4, o *Withdrawal Kanban* é removido do componente e colocado no posto de *Withdrawal Kanban*.
5. No Ponto 5 os *WIP Kanban* que estão no posto de receção de *Kanban* são levados para o Posto de *WIP Kanban* e colocados por ordem de chegada.
6. Os *WIP Kanban* do Posto de *WIP Kanban* serão levados a um processo antecedente onde serão produzidas as peças/componentes pela ordem que foram colocados no posto *WIP Kanban* (em caso de não haver determinadas prioridades).
7. As peças que estão a ser produzidas têm de ser sempre acompanhadas pelo *WIP Kanban* durante o processamento e até ao supermercado A.



8. Após o componente ter sofrido todas as operações de processamento, serão transportados com o *WIP Kanban* até ao supermercado A, desta forma, ficará disponível para ser recolhido por um operador da linha de montagem subsequente que tenha um *Withdrawal Kanban* da mesma peça.

#### 3.10.1.5. Dimensionamento de *Kanban*

Uma questão muito importante com a qual as organizações se deparam quando pretendem adotar um sistema *Kanban* na sua empresa diz respeito ao número de etiquetas/cartões *Kanban* que são efetivamente necessários (Chiarini, 2012). O número de cartões *Kanban* pode ser determinado pela seguinte equação:

$$K = \frac{D \times L \times (1 + \alpha)}{C}$$

Em que:

K- Número de *Kanbans*

D- Consumo médio do cliente por unidade de tempo.

L- *Lead time* (engloba tempo de espera e tempo de processamento).

$\alpha$ - Fator de segurança (deve ser menor ou igual que 10%).

C- Capacidade do contentor.

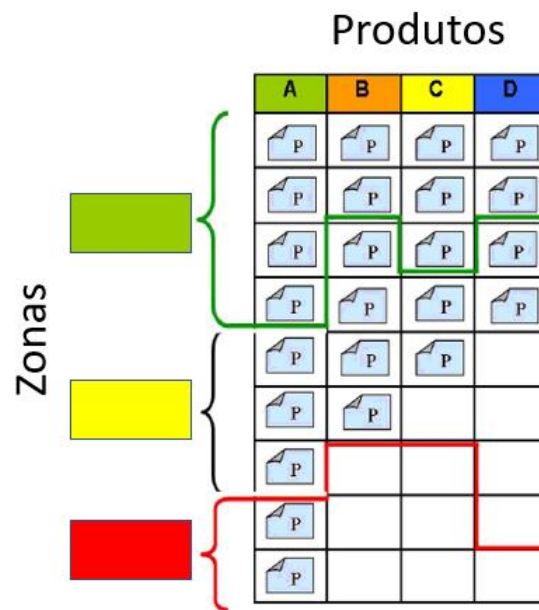
A margem de segurança deve ser o mais baixo possível e deve só ser incluída quando absolutamente necessário, principalmente se se tratar de processos estáveis (Chiarini, 2012).

#### 3.10.1.6. Quadro *Kanban*

Os quadros *Kanban* (QK) podem ser utilizados para a receção de cartões *Kanban*. Os QK geralmente consistem em colunas diferentes para produtos diferentes, sendo divididos em 3 zonas, nomeadamente zona vermelha, amarela e verde (Murino et al., 2010). Os cartões *Kanban* devem ser sempre colocados no cimo do QK (zona verde), sendo que consoante acumula cartões *Kanban*, vão se aproximar da zona de alerta (zona amarela) e zona de risco de falta de material (zona vermelha) (Murino et al., 2010).

Através do QK são geridas as prioridades, sendo que cada coluna pode ter prioridades diferentes, apresentando zonas verdes, amarelas e vermelhas com um número de cartões diferentes.

Na Figura 3-19 pode ser observado um QK com 4 produtos distintos e 3 zonas para gerir as prioridades na produção.



**Figura 3-19** Quadro Kanban com 4 produtos e 3 zonas. Adaptado de (Murino et al., 2010)

### 3.10.2. Milk-Run

As empresas podem recorrer a um trabalhador que tem como funções executar o abastecimento dos supermercados, dos postos de trabalho, das linhas de montagem, recolher as caixas vazias e gerir os fluxos internos de *Kanbans* (Chiarini, 2012). Os operadores que têm como foco este conjunto de tarefas podem ser designados de *milk-runner* ou *milkman*. Segundo (Chiarini, 2012), torna-se vantajoso utilizar o *milk-run* com um *milk-runner* visto que se podem verificar as seguintes vantagens ao nível de:

- O *milk-runner* ficar especializado neste tipo de atividades, tornando-se muito mais eficiente e desta forma, cometer menos erros e aumentar a rapidez na execução das tarefas.
- Os operadores dos postos de trabalho e dos processos não têm de abandonar o seu posto de trabalho, evitando desperdícios de tempo na deslocação e procura ineficiente pelos materiais desejados.
- Mantendo os processos dentro do *takt-time*, podem ser encontrados e corrigidos aspetos problemáticos tais como um mau balanceamento e *bottlenecks*.
- Caso o *milk-runner* seja treinado em outras tarefas, pode também substituir pontualmente outros operadores mantendo o *takt-time*.

### 3.10.3. Ferramenta 5S

A ferramenta 5S tem como base cinco palavras oriundas do Japão, nomeadamente *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shituske* que começam todas com a letra “S”, dando origem ao nome da ferramenta. A aplicação dos 5S visa, alcançar e manter ordem e limpeza no local de trabalho, com isso, pretende-se aumentar a produtividade, melhorar a qualidade e segurança, facilitar a implementação de gestão visual e do controlo (Chiarini, 2012).

Descrevendo sucintamente cada uma das fases dos 5S (Monden, 2012):

- **Seiri:** Separar as coisas necessárias das desnecessárias. Descartar o que é desnecessário;
- **Seiton:** Organizar as coisas de modo a facilitar o trabalho;
- **Seiso:** Limpar e arrumar o local de trabalho de modo a manter a arrumação e organização;
- **Seiketsu:** Manter os 3 primeiros “S”. Padronizar e simplificar as instruções de modo a facilitar o trabalho dos operadores e do seu supervisionamento.
- **Shitsuke:** Fazer os trabalhadores cumprir todas as etapas e regras anteriores.

Uma forma de avaliar os benefícios adquiridos pela implementação de 5S pode ser medida através de diversos indicadores, tais como (Chiarini, 2012):

- Quantidade de espaço ganho;
- Defeitos;
- Lead time;
- Número de acidentes e feridos;
- Produtividade.



## 4. PARTE EXPERIENCIAL NO LABORATÓRIO DE EGI

Esta secção engloba os conteúdos de vertente prática trabalhados no laboratório de EGI (LabEGI) no âmbito desta dissertação, descrevendo as atividades realizadas por ordem cronológica, problemas verificados ao longo do desenvolvimento e soluções desenvolvidas para esses problemas. Pretendeu-se implementar ações de 5S, standardização do processo de montagem, desenvolver soluções auxiliares para a montagem, acelerar o processo de montagem e garantir a conformidade com os requisitos de qualidade.

Para além disso, pretendeu-se implementar também um sistema *Kanban* para gerir o fluxo de produtos, equilibrar a carga nos postos de trabalho, determinar os tempos dos ciclos de *milk-run* e quantidades usadas por caixa de modo a evitar a rotura de *stock* dos supermercados dos postos de trabalho.

É de notar que qualquer abreviatura dos materiais e ferramentas utilizadas, presente na secção 4 e todas subsecções associadas, pode ser encontrada na lista de inventário do LabEGI presente no Apêndice A1.

### 4.1. Laboratório de EGI

O laboratório de EGI (LabEGI) encontrava-se inicialmente equipado com uma linha de montagem com 3 postos de trabalho, cada um com um supermercado associado, um armazém de peças soltas, um carrinho para transporte das caixas, chaves sextavada (CS), chaves de fendas, uma parafusadora elétrica, uma impressora 3D, leitor de código de barras, monitor, caixas grandes (CG), caixa pequenas (CP), uma peça modelo (PM), entre outros. Procedeu-se ao levantamento de todos os materiais e equipamentos relevantes para a elaboração de uma lista do inventário do LabEGI. A lista do inventário do LabEGI pode ser consultada no Apêndice A1.

Este laboratório tem potencial para ser uma LF no sentido restrito, visto que inclui múltiplas estações, podem ser incorporados aspetos técnicos como organizacionais, tem uma configuração mutável, tem presente uma cadeia de valor real, opera com um produto físico que será montado em postos de trabalho reais com ferramentas autênticas e futuramente, pode englobar um conceito didático que compreende aprendizagem formal,

informal e não formal, possibilitada pelas próprias ações dos formandos num regime de aprendizagem presencial.

## 4.2. Armazém

O armazém de peças soltas tem duas prateleiras inclinadas para levar as caixas em direção ao operador de reabastecimento dos supermercados (*milk-runner*). Existem ainda mais duas prateleiras com uma inclinação contrária, que têm como função receber as caixas vazias e levá-las ao operador que irá tratar do reabastecimento do armazém.

Inicialmente o armazém encontrava-se num estado caótico, estando ausente qualquer tipo de organização ou arrumação. Verificou-se também uma incoerência no que diz respeito às quantidades de peças soltas em cada caixa. Na Figura 4-1 pode ser observado o estado do armazém na fase inicial, sendo que à esquerda se encontra a perspetiva lateral e à direita a perspetiva frontal.



**Figura 4-1** Estado inicial do armazém de peças soltas

Facilmente se verificou que existiam diversos problemas a resolver no armazém, visto que no estado como se encontrava, iria levar a grandes desperdícios de tempo para procurar as caixas, abastecimento dos postos de trabalho com peças erradas ou na quantidade errada, podendo levar à falta dos componentes na linha de montagem.

Desta forma, para a resolução deste problema, procedeu-se à implementação da ferramenta 5S no armazém de peças soltas, ferramenta descrita previamente na secção 3.10.3. O resultado da implementação dos 5S no armazém pode ser observado na Figura 4-2.



**Figura 4-2** Armazém de peças soltas após implementação de 5S

### 4.3. Postos de trabalho e supermercado

O LabEGI conta com 3 postos de trabalho (PT), sendo que cada PT tem um supermercado e uma prateleira para colocar as caixas vazias para serem recolhidas. A prateleira do supermercado encontra-se inclinada para as caixas virem ao encontro do operador de montagem através da força da gravidade, enquanto que a prateleira superior tem uma inclinação contrária para as caixas irem ao encontro do operador de *milk-run*. Cada PT tem um suporte para a chave sextavada (CS) e uma chave de fendas (CF). No Apêndice B1 encontra-se representado um dos 3 postos de trabalho presentes no LabEGI.

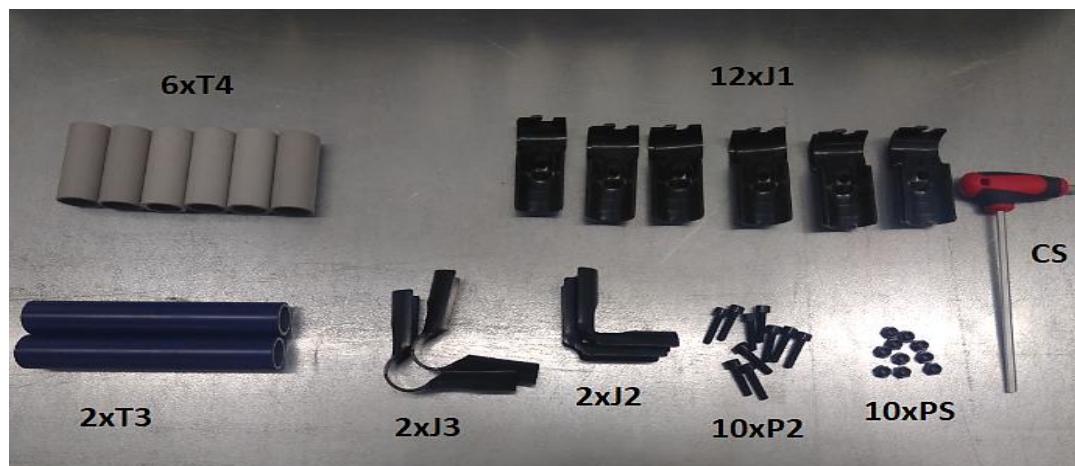
### 4.4. Produto a ser montado na linha de montagem

Na linha de montagem pretende-se montar um produto relativamente complexo, constituído por 44 peças individuais. O produto pode ser observado na Figura 4-3.



**Figura 4-3** Produto a ser montado

Este produto pode ser montado em três versões distintas, variando exclusivamente a cor do tubo grande. Na Figura 4-3 encontra-se a versão do tubo grande amarelo, existindo também em alternativa a versão de tubo de cor azul ou tubo de cor marfim. Na Figura 4-4 encontram-se representadas as peças necessárias e a sua quantidade para formar um produto de variante azul.



**Figura 4-4** Material necessário para montagem de produto de variante azul

Como pode ser verificado na Figura 4-3 e Figura 4-4, a peça tem um certo grau de complexidade, acrescentado também o facto de a mesma necessitar de um bom alinhamento de todas as juntas, principalmente na fase encaixe do tubo grande com a junta J3, caso este encaixe seja efetuado de forma desalinhada, a peça irá ter defeitos de qualidade graves e terá de ser profundamente desmontada e retrabalhada.

Verificou-se numa fase inicial, a falta de um procedimento de montagem estandardizado. Eram efetuadas montagens com pouca eficiência, visto que eram realizados muitos movimentos desnecessários, esquecimento de incorporação de algumas peças, ao deslocar ou virar a peça durante a montagem desalinhavam-se as juntas ou desencaixavam peças. O alinhamento das juntas era efetuado sem qualquer tipo de marcação, guia ou régua. Tudo isto levava a tempos de montagem elevados e defeitos de qualidade no produto.

Estas peculiaridades, levaram a que tenha sido desenvolvido um gabarito de montagem num software de desenho CAD e um procedimento de montagem uniformizado e otimizado, que permitisse aumentar a cadência de montagem do produto, ao mesmo tempo que se melhorasse também a qualidade final do produto, reduzindo drasticamente os defeitos de qualidade.



## 4.5. Desenvolvimento do gabarito de montagem

Devido aos diversos problemas verificados ao nível das primeiras montagens no que diz respeito à falta de procedimento de montagem otimizado, defeitos de qualidade e tempos de montagem excessivamente longos como previamente explicado na subsecção 4.4, procedeu-se ao desenvolvimento de um gabarito de montagem.

O desenvolvimento do gabarito pode ser associado ao ciclo experiencial presente na Figura 3-1, que se utiliza frequentemente em LF's para promover uma aprendizagem rica em contexto prático. Desta forma, permitiu analisar os problemas verificados, pensar em soluções, implementar as soluções na prática, observar o resultado e voltar a uma fase de observação e reflexão para reiniciar o ciclo e assim melhorar continuamente.

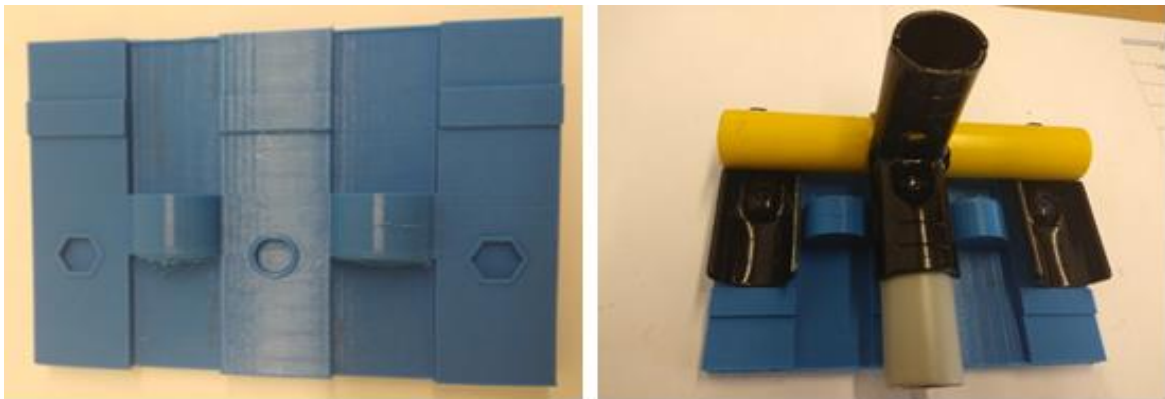
Este tipo de aprendizagem leva ao desenvolvimento de competências que não poderiam ser adquiridas e interiorizadas através da simples leitura ou transmissão passiva de conhecimento em sala de aula. Em contrapartida, tratando-se de uma impressão 3D, um processo demorado, torna-se impossível completar esses ciclos de aprendizagem em formações de curta duração.

O propósito do desenvolvimento do gabarito de montagem encontrava-se na aceleração do processo de montagem, servir como *Poka-Yoke* e reduzir drasticamente os defeitos de qualidade verificados nas montagens iniciais.

Procedeu-se à medição de todas as dimensões relevantes com auxílio de um paquímetro, efetuando três medições para cada ponto de interesse para o desenvolvimento do gabarito. Posteriormente desenhou-se a primeira versão do gabarito num programa de desenho CAD (SketchUp) e procedeu-se à sua impressão numa impressora 3D.

### 4.5.1. Primeira iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

Começou-se pela impressão de metade da base para evitar desperdícios de tempo e de material de impressão, visto que se tratava de uma versão teste e a mesma base do produto ser simétrica. Na Figura 4-5 pode ser observada a metade que foi impressa na primeira iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem.

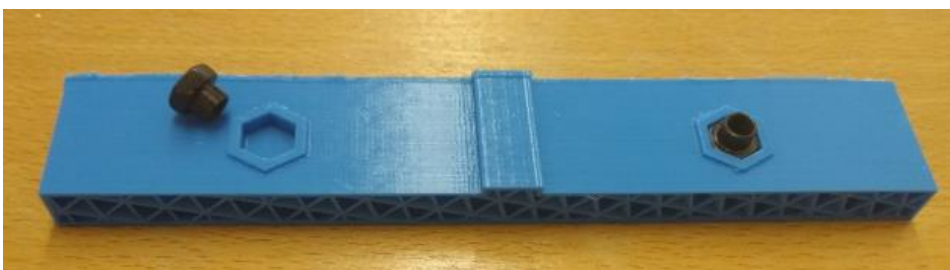


**Figura 4-5** Primeira iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

Verificou-se que o espaço de colocação das porcas sextavada (PS) ficou com demasiada folga, não permitindo o aperto da PS e parafusos P2, enquanto que os suportes do meio curvo ficaram com uma altura insuficiente.

#### **4.5.2. Segunda iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem**

Nesta iteração foi impresso apenas uma pequena parcela do gabarito de montagem para confirmar a possibilidade de encaixe das porcas sextavadas (PS) e possibilidade de aperto das mesmas com um parafuso (P2), verificou-se que era possível apertar até certo ponto antes do aperto de final. Ao longo do aperto, a porca saía fora da cova sextavada, inviabilizando o aperto final. Na Figura 4-6 pode ser observada a segunda iteração do processo de desenvolvimento do gabarito de montagem.



**Figura 4-6** Segunda iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

Devido a este facto, foram efetuados alguns ajustes tal como a elevação da cova e da borda sextavada e a incorporação de alguns batentes para permitir um melhor alinhamento e fixação das peças soltas para a montagem.

### 4.5.3. Terceira iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

Na terceira iteração incorporou-se as dimensões obtidas e testadas na iteração 2, e reduziu-se o diâmetro da cova para a base do parafuso P2 devido à folga que a mesma apresentava na iteração 1. Optou-se por imprimir o gabarito da base toda devido à incorporação de diversos batentes. O resultado encontra-se presente na Figura 4-7.

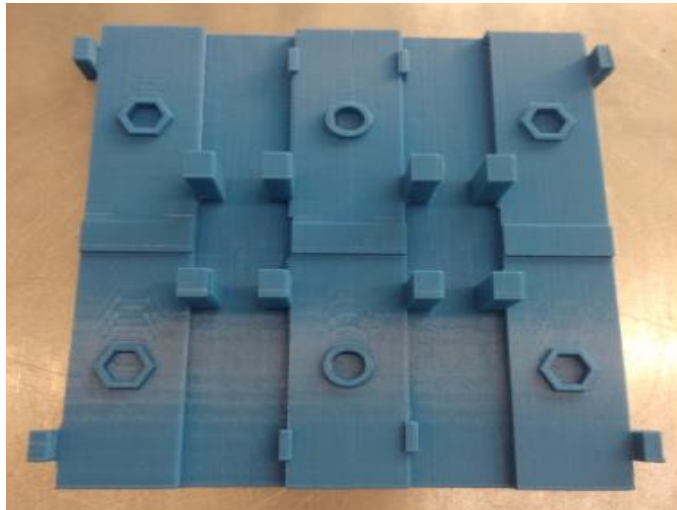


Figura 4-7 Terceira iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

O diâmetro da cova para a base de P2 ficou demasiado reduzido e verificou-se também um defeito de impressão na cova, que impossibilitava a colocação do P2.

### 4.5.4. Quarta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

Nesta iteração, corrigiu-se o diâmetro da cova para o P2 e imprimiu-se exclusivamente a cova e um pequeno apoio para a junta J3. Na Figura 4-8 pode ser observada a parcela impressa e a aplicação do P2 e J3 em cima da parcela impressa.

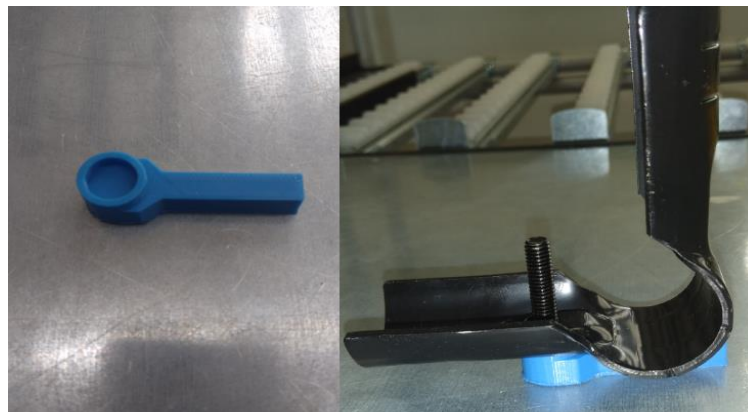
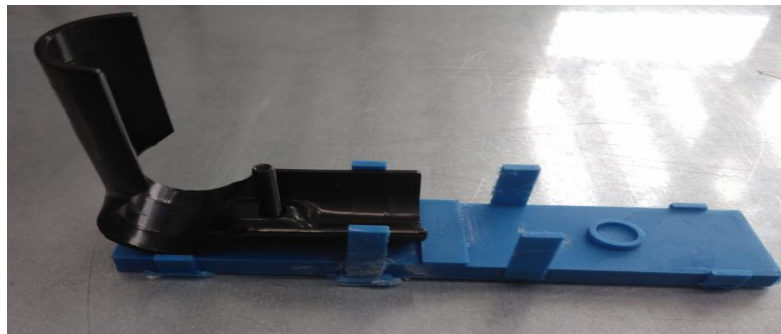


Figura 4-8 Quarta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

As dimensões aplicadas foram adequadas e seguiu-se uma nova iteração.

#### **4.5.5. Quinta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem**

Na quinta iteração adotou-se o diâmetro da cova do P2 no gabarito e imprimiu-se exclusivamente a parcela correspondente à tira que engloba as duas covas para o P2. Pretendeu-se observar a funcionalidade dos batentes e a resistência de batentes mais finos. O resultado desta iteração encontra-se na Figura 4-9.

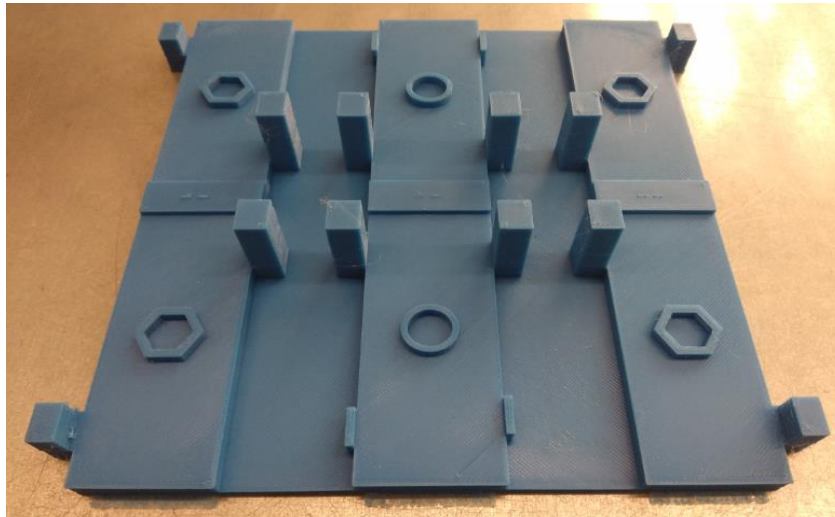


**Figura 4-9** Quinta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

Verificou-se que os batentes mais altos ficariam muito frágeis quando impressos com uma espessura tão reduzida (acabando por partir posteriormente) e os batentes das extremidades, necessitavam de uma folga maior para acomodar a junta J3.

#### **4.5.6. Sexta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem**

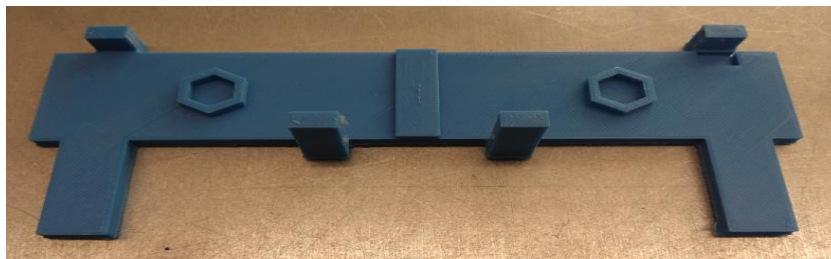
Nesta iteração voltou-se a dar uma espessura maior aos batentes com altura maior para apresentarem uma resistência mecânica suficiente para as montagens. Nesta versão do gabarito, as dimensões encontravam-se todas adequadas e tornou-se possível efetuar a montagem toda da base do produto. Na Figura 4-10 pode ser observado o resultado da sexta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem.



**Figura 4-10** Sexta iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

#### **4.5.7. Sétima iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem**

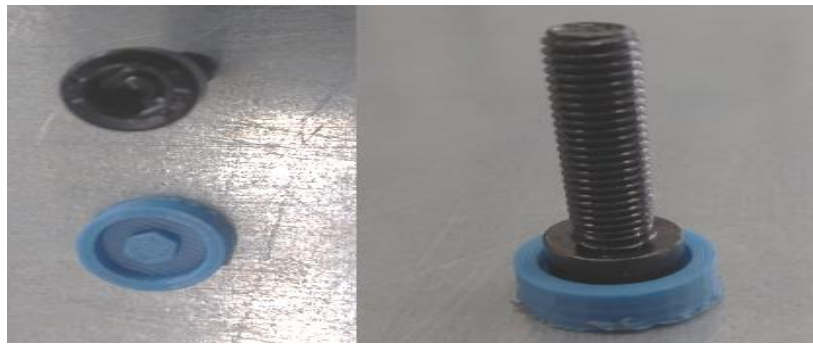
Tendo alcançado um estado quase final da base do gabarito na sexta iteração, procedeu-se ao desenvolvimento da parcela para a montagem do manípulo do produto, que teve uma boa funcionalidade e que sofreu apenas uns retoques ao nível da inclusão de mais batentes. O resultado da sétima iteração do gabarito encontra-se na Figura 4-11.



**Figura 4-11** Sétima iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

#### **4.5.8. Oitava iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem**

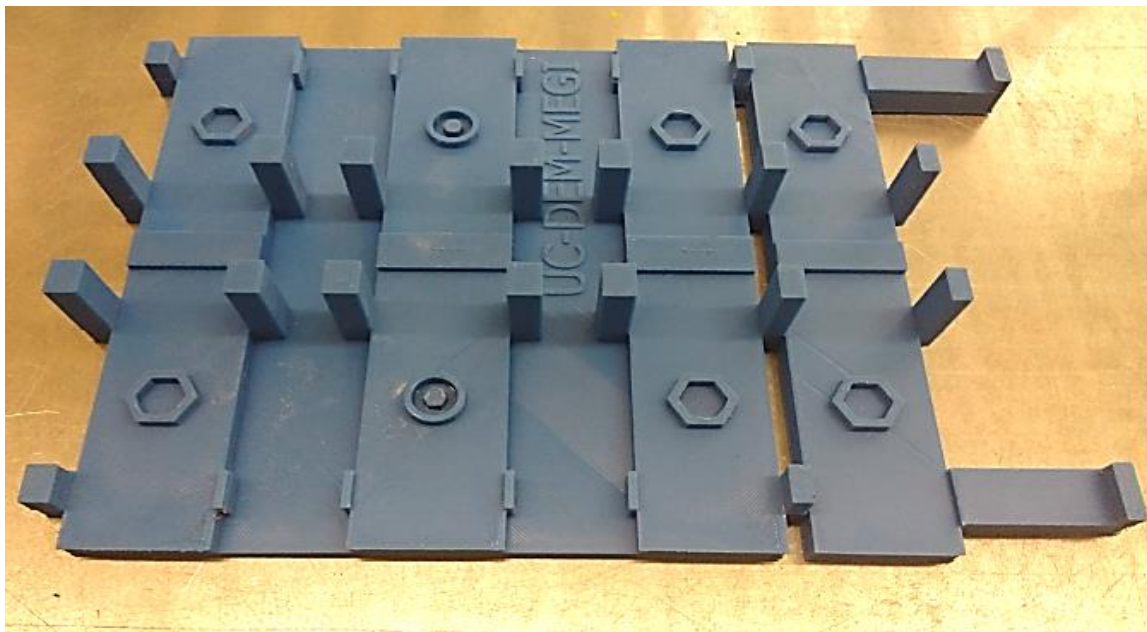
Após a sexta e sétima iteração, procedeu-se a montagens do produto utilizando uma parafusadora elétrica e os modelos de gabarito desenvolvidos para a base e para o manípulo do produto (6ª e 7ª iteração respetivamente). Verificou-se uma oportunidade de melhoria ao nível da cova da base para o P2, que não prendia o parafuso e desta forma, dificultando a tarefa de enroscar a PS no P2. Para melhorar essa situação, acrescentou-se na cova do P2 um relevo em formato hexagonal para poder encaixar e segurar o P2. Imprimiu-se exclusivamente a parcela da cova, encontrando-se o resultado na Figura 4-12.



**Figura 4-12** Oitava iteração do desenvolvimento do gabarito de montagem

#### **4.5.9. Versão final do gabarito de montagem**

Procedeu-se à junção do gabarito da base com o gabarito do manípulo, incorporando as correções necessárias previamente identificadas entre a 6ª e 8ª iteração. Desta forma, alcançou-se o modelo final do gabarito de montagem, que foi utilizado posteriormente para as montagens do produto. A versão final do gabarito de montagem pode ser observada na Figura 4-13



**Figura 4-13** Versão final do gabarito de montagem

Com esta versão de gabarito e com um procedimento de montagem simples e sistematizado, foi possível aumentar a cadência de montagem (como irá ser demonstrado ao longo da subsecção 4.6), reduzindo também de forma significativa defeitos de qualidade e retrabalho proveniente de maus alinhamentos das peças durante a montagem. A versão final

apresenta *Poka-Yoke*'s completamente funcionais como os batentes e posições marcadas através das covas para as PS e os P2.

## **4.6. Evolução dos tempos de montagem do produto**

As montagens foram efetuadas por dois operadores, todas as montagens realizaram-se num único PT. Enquanto um operador montava o produto, o outro documentava com uma câmara todas os passos da montagem para uma análise posterior dos tempos e elaboração de um procedimento de montagem otimizado.

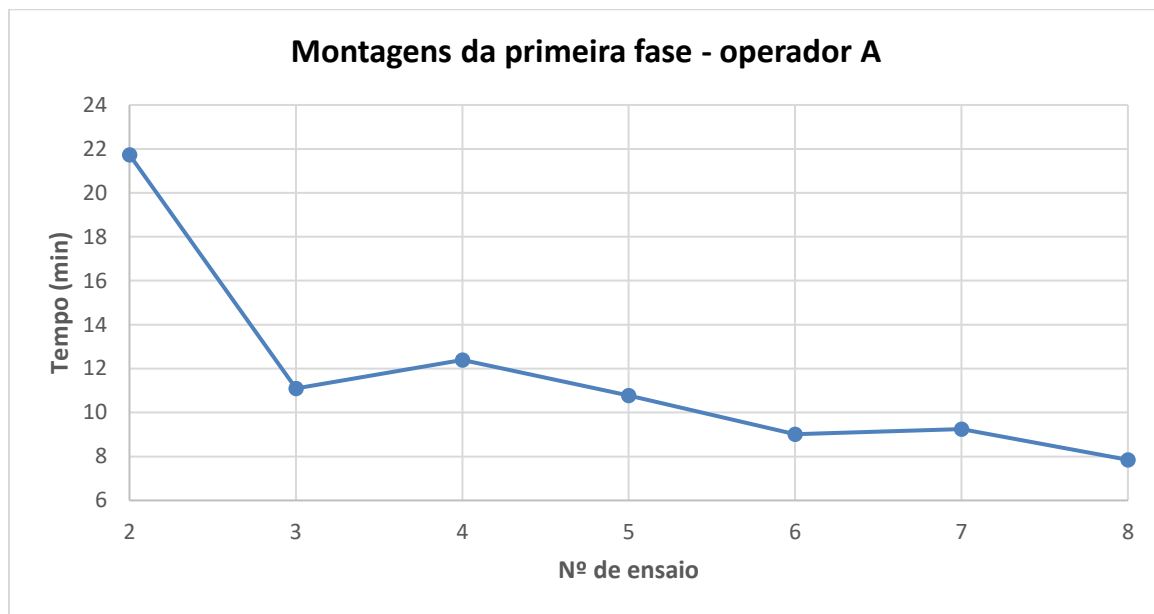
Pretendeu-se fazer um estudo da evolução dos tempos de montagem do produto, com intuito de reduzir o tempo ao mínimo possível e aumentar a qualidade do produto final. Para o operador A podem-se destacar 3 fases de montagem distintas neste estudo, nomeadamente uma primeira fase de montagem com ferramenta manual sem qualquer tipo de gabarito, uma segunda fase onde se trocou a ferramenta manual por uma elétrica, e por fim, uma terceira fase na qual se utilizou o gabarito de montagem desenvolvido e a parafusadora elétrica.

É de notar que na primeira e segunda fase não serão demonstradas as médias dos ensaios feitos pelos dois operadores. Esta decisão está relacionada devido ao número de ensaios para essas duas fases ser diferente entre operadores e um dos operadores não apresentava as fases distintas (após montagens com a parafusadora ainda foram efetuadas montagens com a ferramenta manual no caso do operador B). Apresentar-se-ão os resultados do operador A na primeira e segunda fase, sendo que a evolução dos resultados do operador B podem ser observados conjuntamente com os do operador A na Figura 4-18.

### **4.6.1. Primeira fase do estudo da evolução dos tempos de montagem do produto**

Esta fase, foi naturalmente de longe a fase na qual as montagens demoraram mais tempo como era expectável, visto que os operadores inicialmente não se encontravam familiarizados com as peças, com a quantidade de peças necessária, a sua interação, forma de alinhamento, dúvidas, hesitações e não existia um procedimento de montagem.

Portanto nesta fase, os operadores familiarizaram-se com as peças, visualizavam os vídeos das montagens para analisar e descobrir os principais erros e oportunidades de melhoria para esquematizar um procedimento de montagem cada vez melhor. Os resultados desta fase do operador A encontram-se na Figura 4-14.



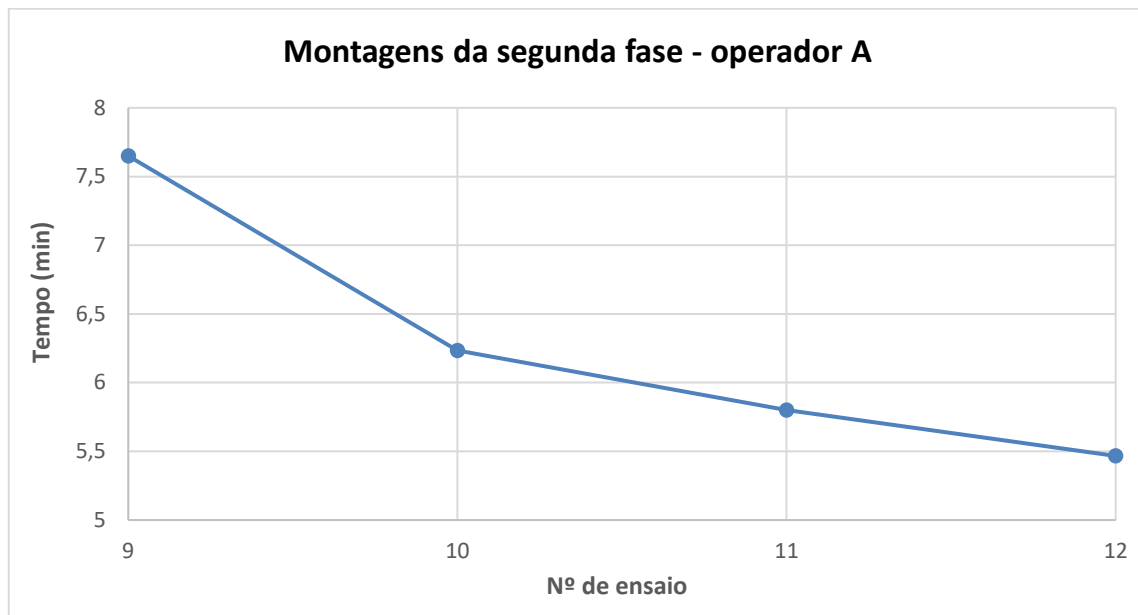
**Figura 4-14** Tempos de montagem da primeira fase do operador A

O primeiro ensaio foi desprezado visto que existiram perdas de tempo claramente exageradas devido ao facto de o material necessário não ter estado no posto de trabalho, de o armazém se encontrar desorganizado e de não ter havido nenhum contacto prévio com as peças e produto. Analisando a Figura 4-14 facilmente se verifica que existiu uma descida acentuada entre o 2º e 3º, seguida de uma queda gradual, alcançando um valor inferior a 8 minutos no último ensaio realizado sem gabarito e sem parafusadora elétrica.

#### **4.6.2. Segunda fase do estudo da evolução dos tempos de montagem do produto**

Com a substituição da CS pela parafusadora elétrica, foi possível reduzir significativamente o tempo de montagem, nesta fase os operadores já se encontravam familiarizados com as peças, com um procedimento de montagem estruturado e sistemático. Continuou-se com a análise dos vídeos das montagens com vista a encontrar melhorias no procedimento e registar os tempos das operações. Na Figura 4-15 podem ser observados os tempos obtidos do operador A na segunda fase de montagem.





**Figura 4-15** Tempos de montagem da segunda fase do operador A

O tempo de montagem desceu consecutivamente nos quatro ensaios efetuados utilizando a parafusadora elétrica.

Nesta fase, estava já a ser desenvolvido paralelamente um gabarito de montagem para ser utilizado na próxima fase, para poder retificar algumas situações problemáticas ao nível dos ajustes, alinhamentos e inconformidade na qualidade do produto que se foram verificando em algumas montagens.

#### **4.6.3. Terceira fase do estudo da evolução dos tempos de montagem do produto**

Na terceira fase do estudo da evolução dos tempos de montagem do produto, incorporou-se a utilização do gabarito de montagem, aplicou-se um procedimento de montagem que foi criado e aperfeiçoado ao longo da primeira e segunda fase e continuou-se a utilizar a parafusadora elétrica.

Foram efetuadas 20 medições pelo operador A e 20 pelo operador B, utilizando um procedimento semelhante, desta forma, incorporaram-se ambos os conjuntos de medições na mesma figura, e posteriormente a média ensaio a ensaio. Os resultados individuais de cada operador podem ser observados na Figura 4-16. É de notar que no ensaio 21 as medições foram efetuadas passado um intervalo de 3 dias, justificando o aumento significativo do tempo de montagem dos dois operadores nesse ponto, no qual se verificou alguma lentidão e indecisão no procedimento de montagem devido a essa paragem de 3 dias.

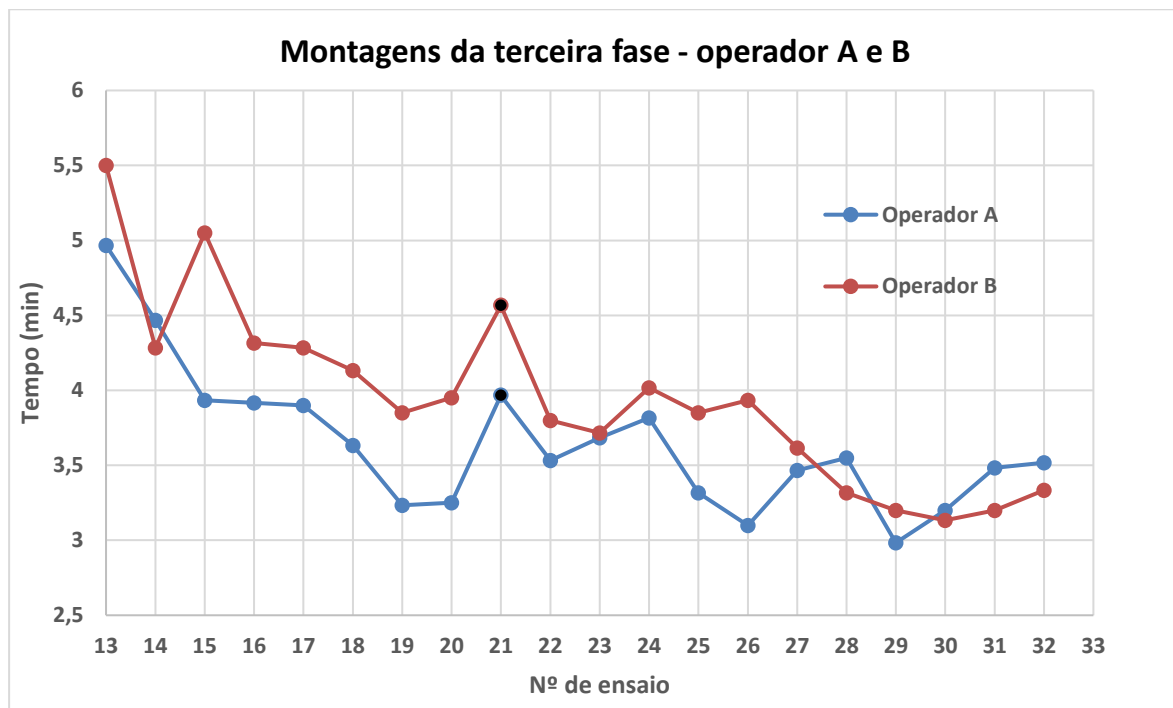


Figura 4-16 Tempos de montagem da terceira fase do operador A e B

Efetuada a média dos valores da figura anterior, obtiveram-se os resultados de tempo médio entre os ensaios dos dois operadores que podem ser observados na Figura 4-17.

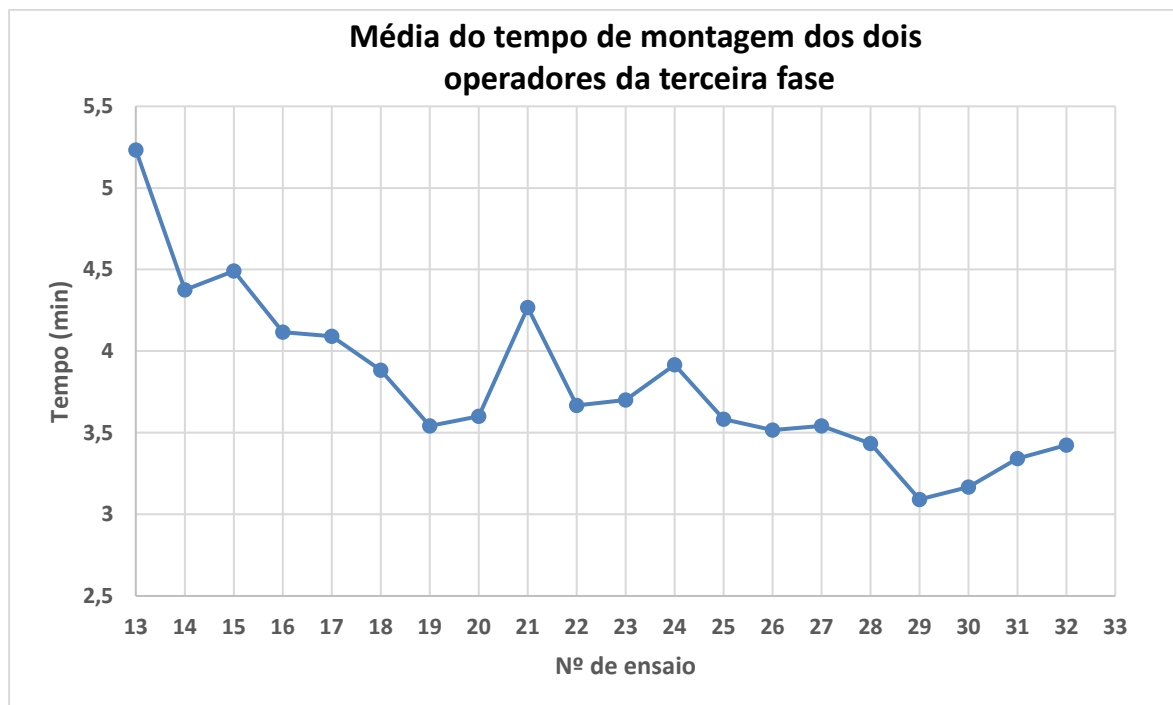


Figura 4-17 Tempo médio de montagem dos ensaios efetuados pelos dois operadores na terceira fase

Ao longo dos ensaios desta fase, foi possível reduzir de novo significativamente o tempo médio de montagem. Calculando a média dos 20 ensaios dos

dois operadores para a terceira fase, obtém-se um tempo de montagem médio de 3,8 minutos com um desvio padrão de 0,56 minutos.

#### 4.6.4. Junção de todas as fases do estudo da evolução dos tempos de montagem e desmontagem

Nesta subsecção será apresentado uma junção das 3 fases analisadas anteriormente do operador A e também do operador B, com intuito de visualizar graficamente os ganhos a nível de tempos de montagem que foram obtidos ao longo dos ensaios. Como ponto de partida utilizou-se um tempo de 14,3 minutos, que corresponde à média dos primeiros 3 ensaios válidos dos dois operadores. Desta forma, atingiu-se uma redução de 14,3 minutos para uma média de 3,8 minutos, correspondendo a uma redução de cerca de 73,3%.

Estarão também incluídos os dados dos tempos de desmontagem dos produtos após cada ensaio. Os resultados de todas as montagens e desmontagens de cada operador podem ser observados na Figura 4-18.

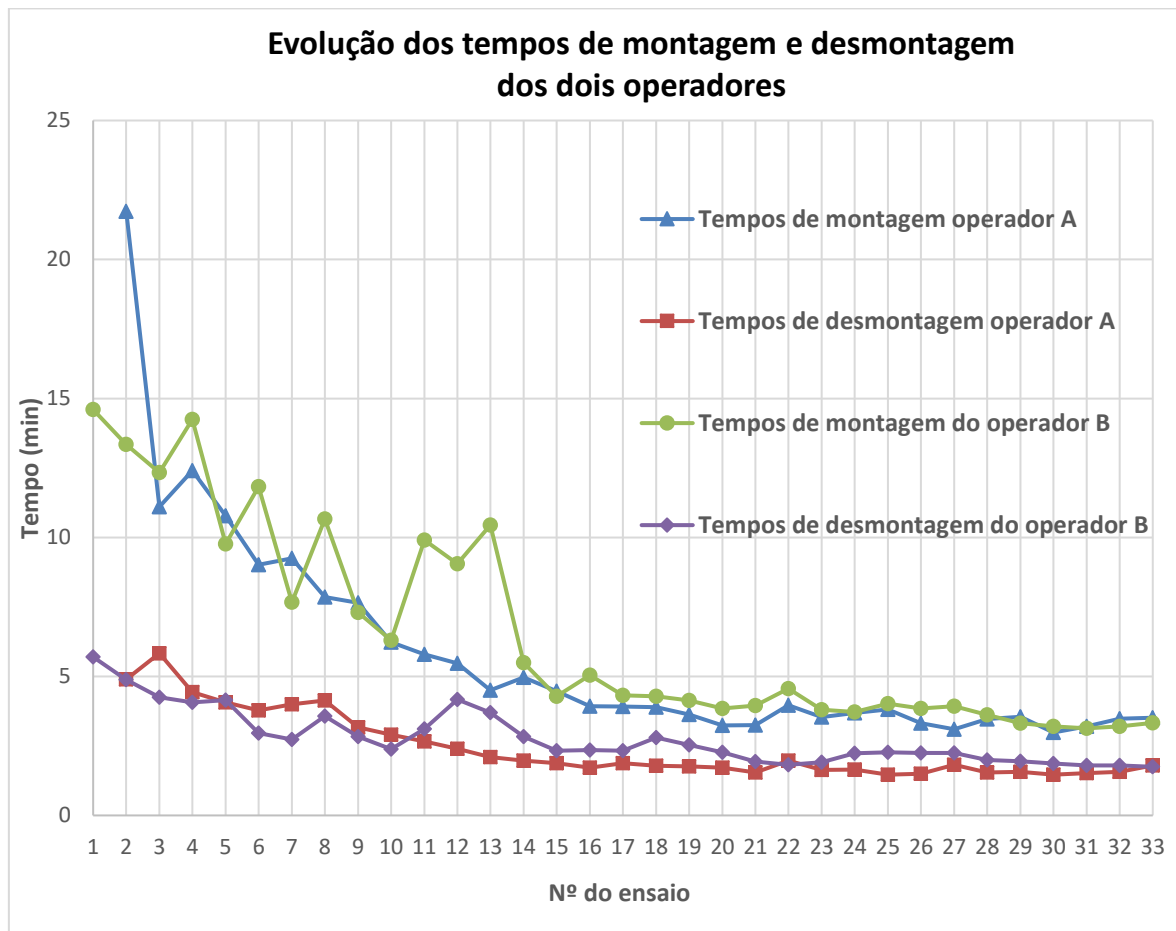


Figura 4-18 Evolução dos tempos de montagem e desmontagem dos dois operadores

#### 4.7. Milk-run para os supermercados dos postos da linha de montagem

Nesta subsecção assume-se as condições da subsecção 4.6.3, ou seja, cada posto de trabalho monta uma peça igual à Figura 4-3 do início ao fim, tendo todos os postos os mesmos componentes no supermercado.

Para poder determinar os tempos médios de cada operação feita num ciclo de *milk-run*, a distância percorrida e determinar o número de componentes por caixa, adotou-se um *layout* fixo que pode ser visualizado na Figura 4-19 juntamente com as distâncias percorridas e tempos médios. Efetuaram-se 10 medições consecutivas de ciclo de *milk-run*.

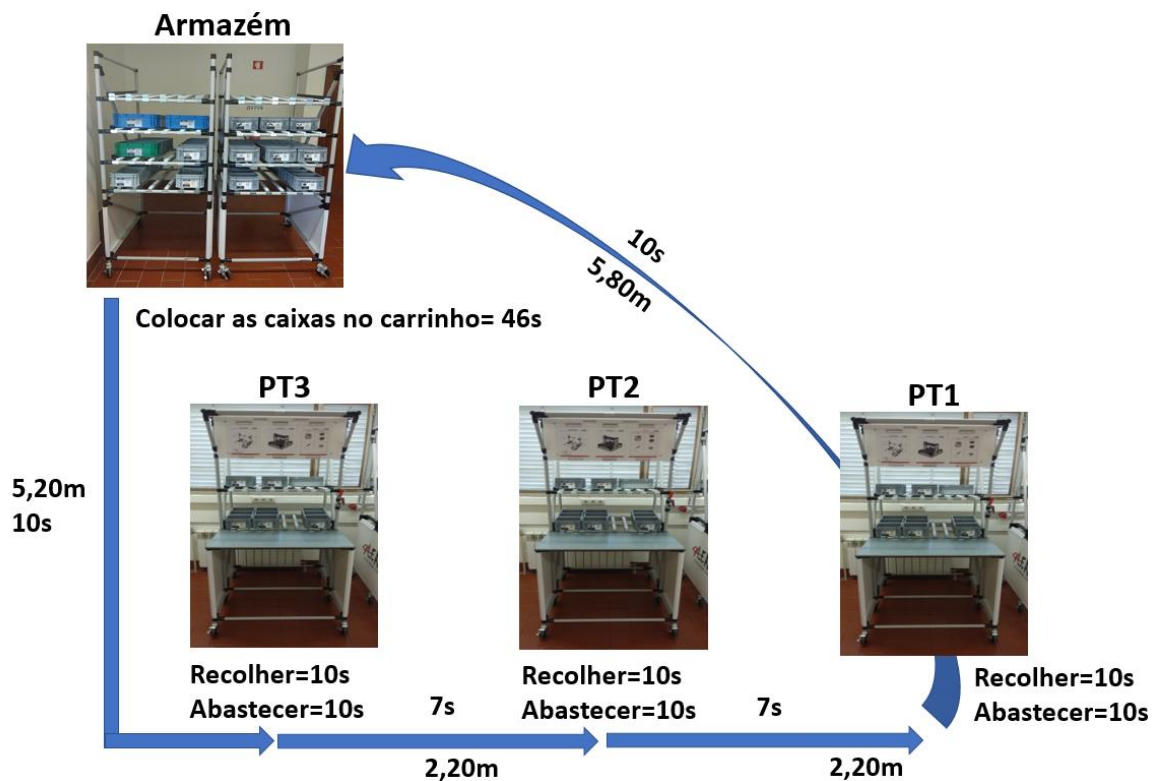


Figura 4-19 Layout adotado para a determinação dos tempos médio e quantidades de reabastecimento

Com os dados provenientes da Figura 4-19 calcularam-se dados como o número de *milk-runs*, tempo de ciclo de um *milk-run*, tempos de espera e tempo de consumo dos componentes de uma caixa, variando no *excel* a distância do armazém aos postos de trabalho tal como número de componentes por caixa. É de notar que estes resultados foram efetuados com médias. Uma forma mais rigorosa poderia ser alcançada através de simulação, englobando fatores como peças defeituosas, retrabalho de produtos, variabilidade nos tempos de montagem, entre outros. Os resultados calculados encontram-se na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 Número de *milk-runs* e tempos de ciclo em função de parâmetros de distância e componentes por caixa

Distância do armazém aos postos	Nº de conjuntos de montagem por caixa	Nº de <i>milk-runs</i> por turno de 7h	Tempo para o regresso ao Armazém e descarregar as caixas (s)	Tempo de Espera até reiniciar o ciclo/tempo morto (s)	Tempo total do ciclo <i>milk-run</i> (min)	Tempo de consumo dos componentes de uma caixa e retirada de caixas vazias (min)
Distância original	1	105	40	69	4	4
Distância original	2	52	40	307	8	8
Distância original	3	35	40	545	12	12
Distância original	4	26	40	783	16	16
3 vezes superior	1	105	60	31	4	4
5 vezes superior	2	52	80	231	8	8
10 vezes superior	2	52	130	135	8	8
20 vezes superior	2	<b>Fica sem material no 10º <i>milk-run</i></b>			9	8
20 vezes superior	3	35	230	183	12	12
40 vezes superior	3	<b>Fica sem material no 16º <i>milk-run</i></b>			15	12
40 vezes superior	4	27	430	39	16	16
40 vezes superior	5	21	430	277	20	20

#### 4.8. Processo de implementação de um sistema *Kanban* no LabEGI

Antes da tentativa de implementação do sistema *Kanban* no LabEGI procedeu-se ao balanceamento da linha no que diz respeito à carga de trabalho distribuída por cada PT. Este balanceamento efetuou-se com a finalidade de obtenção de uma maior utilização da capacidade produtiva, evitando períodos ociosos e períodos de sobrecarga. Após diversos ensaios para comprovar o balanceamento da linha, procedeu-se à tentativa de implementação do sistema *Kanban* propriamente dito.

#### 4.8.1. Balanceamento da linha de montagem

Tendo em conta as diversas montagens efetuadas na subsecção 4.6, foi possível iterar uma distribuição de tarefas pelos postos de trabalho com alguma precisão, foram testados vários procedimentos de montagens. Escolheu-se um procedimento para efetuar 10 ensaios, que aparentasse ter a carga de trabalho equilibrada e que permitisse a montagem de produtos intermédios para ficar em *stock* com um cartão *Kanban* associado.

As montagens foram todas efetuadas pelo mesmo operador (operador A) que já se encontrava familiarizado com o produto a montar. Com a realização das montagens e observação consequente das filmagens, descreveu-se as tarefas de cada PT, tal como os tempos de cada tarefa. No Apêndice C1 pode ser observado o procedimento de montagem adotado com a descrição e média de tempo de cada tarefa.

A média e desvio padrão para cada tarefa e carga de trabalho por posto obtido através dos 10 ensaios da linha balanceada podem ser observados no Apêndice C2, enquanto que os valores individuais dos ensaios no Posto de trabalho 1, 2 e 3 estão presentes no Apêndice C3, Apêndice C4, Apêndice C5 respetivamente.

Analisando os tempos médios da carga de trabalho atribuída aos três postos de trabalho, pode-se assumir que a linha de montagem se encontra balanceada, dado que não existe nenhuma tarefa que poderá ser alocada ao posto 3 sem criar distúrbios na forma de armazenamento e visto que o tempo de montagem do posto 1 e 2 se encontram em concordância elevada, qualquer alteração iria piorar o balanceamento. Na Figura 4-20 podem ser observadas os tempos médios de carga de trabalho na linha de montagem balanceada.

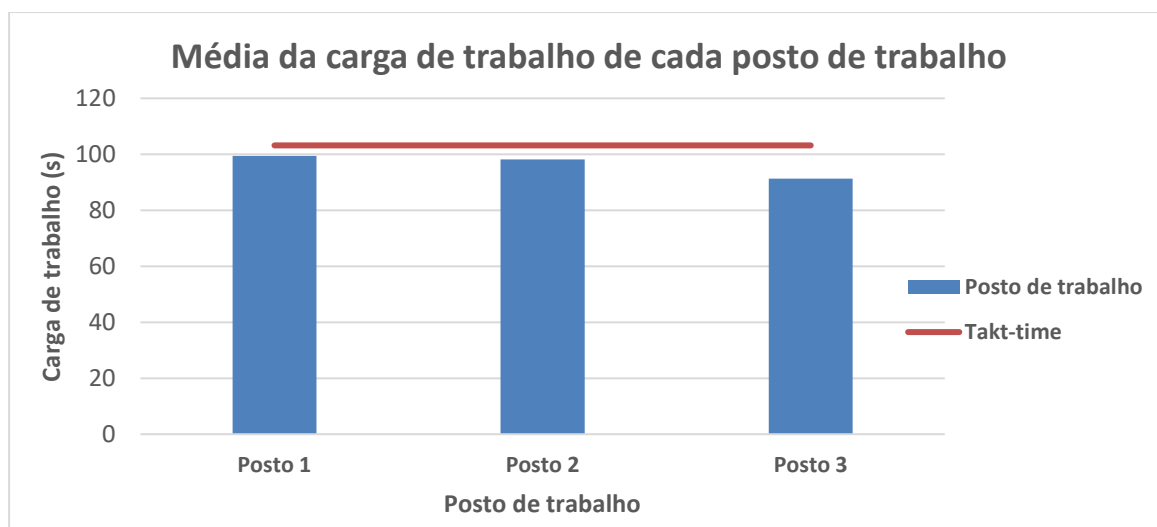
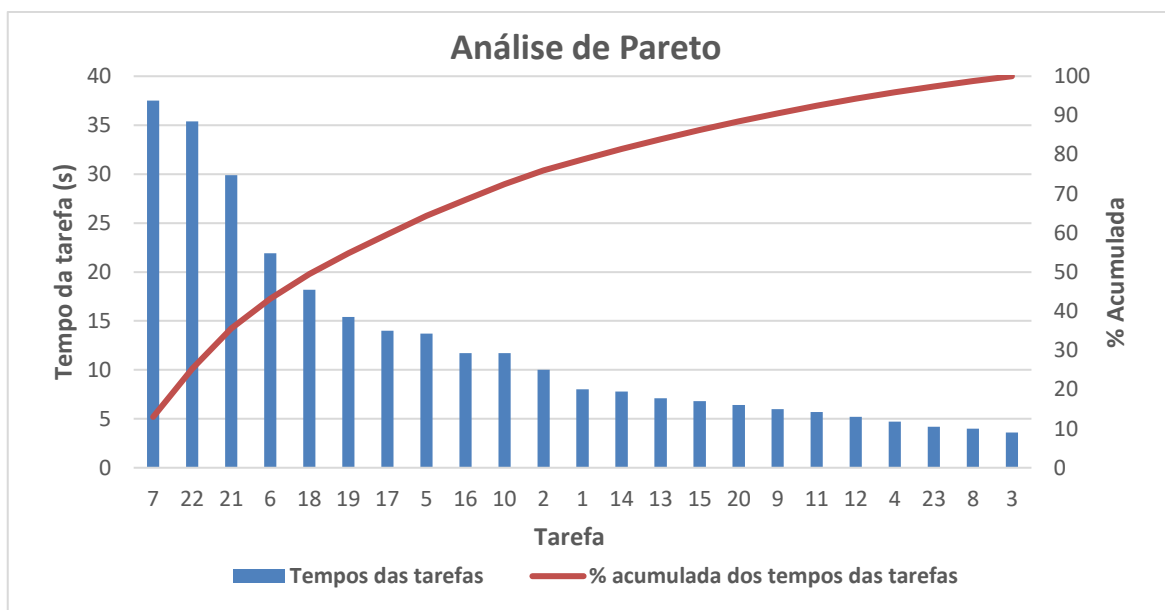


Figura 4-20 Média da carga de trabalho na linha de montagem balanceada

Efetuada uma análise de Pareto aos valores dos tempos médios apresentados no Apêndice C2, mesmo não indo de encontro à regra típica de Pareto (onde teoricamente 20% das tarefas deveriam corresponder a 80% do tempo), esta ferramenta possibilitou demonstrar de forma fácil, quais as tarefas que consomem mais tempo. Na Figura 4-21 encontra-se representado o gráfico da análise de Pareto efetuada aos resultados da linha de montagem equilibrada.



**Figura 4-21** Análise de Pareto aos 10 ensaios da linha de montagem balanceada

Analisando o gráfico de Pareto, pode ser observado que cerca de 50% do tempo diz respeito a apenas cinco das vinte e três tarefas (Tarefa 7, 22, 21, 6 e 18), portanto para melhorar os tempos de montagem, deveria se atuar sobre estas tarefas. Das cinco tarefas mencionadas, quatro dizem respeito a operações de apertar parafusos com uma CS. Pode-se afirmar que o tempo pode ser facilmente reduzido ao utilizar uma parafusadora elétrica e novo balanceamento da linha após a introdução dessa melhoria.

#### 4.8.2. Linha mal balanceada no âmbito de *learning factory*

No caso de aplicabilidade do balanceamento da linha no âmbito de uma LF, de modo a promover o desenvolvimento de competências dos formandos, deverá ser providenciado uma linha que não se encontra balanceada, ou seja, onde as cargas de trabalho dos postos têm diferenças consideráveis. Isto permitirá aos formandos operar com o sistema atual que não se encontra balanceado e aperceberem-se do que está a falhar na linha, levando aos ciclos de aprendizagem experienciais já mencionados nesta dissertação.

Desta forma, os alunos são confrontados com um problema que pode surgir no mundo do trabalho e terão de pensar numa solução, testá-la na prática e analisar os resultados e tomar ações corretivas caso seja necessário.

No Apêndice C6 pode ser encontrado o procedimento de montagem da linha mal balanceada que deverá ser transmitido aos futuros formandos da LF.

Na Figura 4-22 pode ser observada a distribuição das cargas de trabalho da linha mal balanceada com a finalidade de ser corrigida pelos formandos da LF.

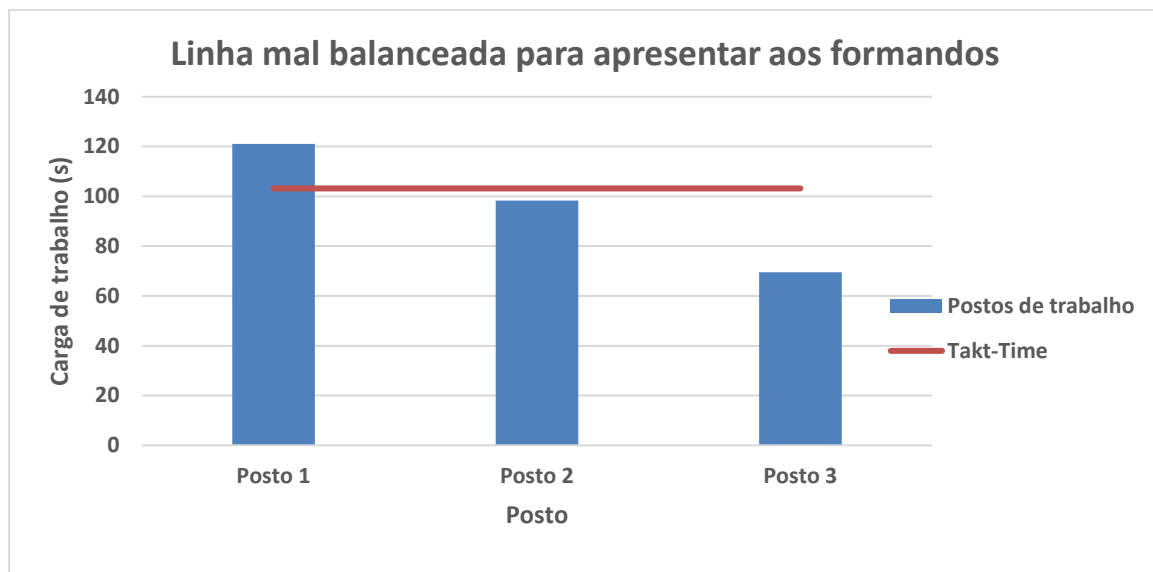


Figura 4-22 Distribuição da carga de trabalhos para a linha mal balanceada no âmbito da LF

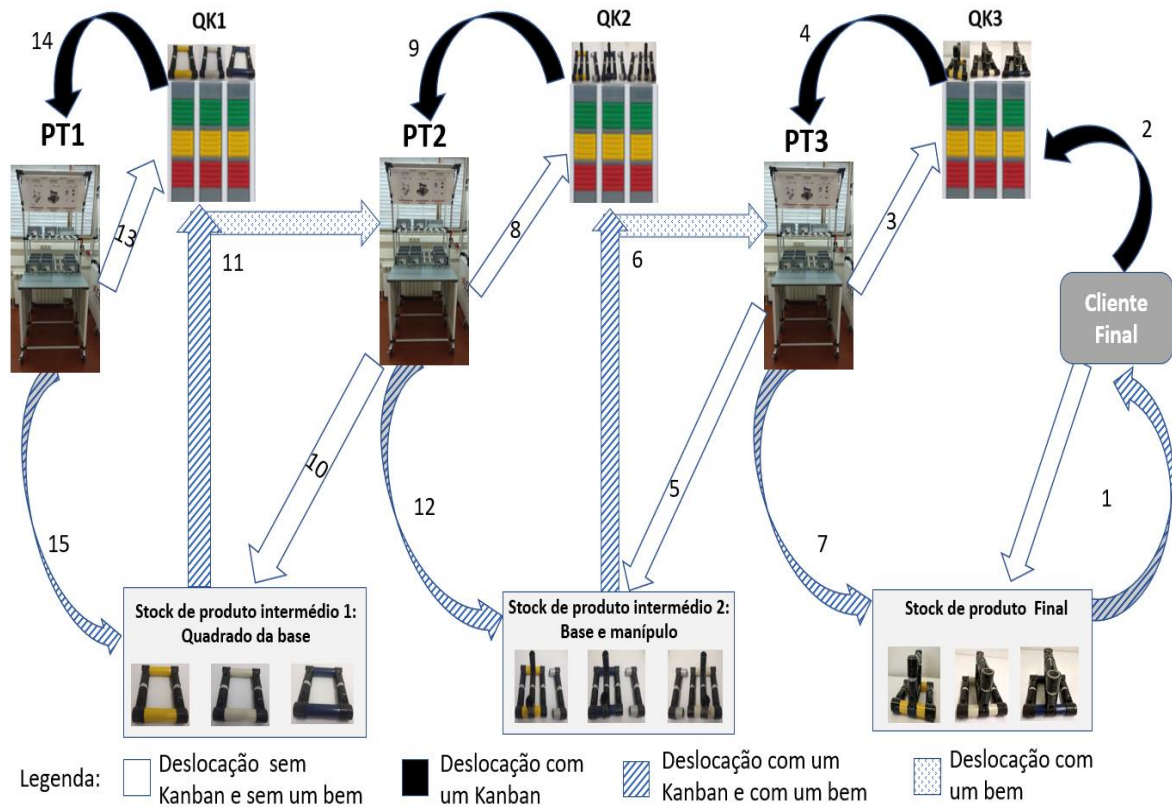
### 4.8.3. Implementação do Sistema *Kanban*

#### 4.8.3.1. Sistema *Kanban* idealizado para implementação no LabEGI

Idealizou-se um sistema *Kanban* para o LabEGI no qual se acrescentou 3 quadros *Kanban* (QK), 9 tipos de cartões *Kanban* (três por cada cor), 2 *stocks* de produto intermédio e um *stock* de produto final aos equipamentos que já se encontravam no laboratório. Os QK e *stocks* mencionados previamente deverão localizar-se junto a cada posto de trabalho. O Apêndice D1 exhibe o QK3 que recebe os cartões *Kanban* de produto final.

A reposição das caixas com peças para a montagem será efetuada através de *milk-run*. Neste sistema apenas irá ser utilizado um *Kanban* ao invés do *loop* de cartões de *Withdrawal Kanban* e *WIP Kanban*, visto que as distâncias entre os postos de trabalho são reduzidas. Na Figura 4-23 pode ser observado o esquema de funcionamento do sistema *Kanban* idealizado para implementar no LabEGI.





**Figura 4-23** Esquema de funcionamento do sistema *Kanban* idealizado para implementação no LabEGI

Descrevendo os 15 passos do funcionamento do sistema *Kanban* da Figura 4-23:

1. Um pedido do cliente final leva a que o produto seja retirado do *stock* de produto final e levado para satisfazer o pedido do cliente.
2. O *Kanban* do produto retirado do *stock* de produto final é levado para o quadro *Kanban* 3 (QK3).
3. O operador do PT3 observa o QK3 para saber o que deve produzir.
4. O operador do PT3 traz um cartão do QK3 consigo.
5. O operador do PT3 retira do *stock* de produto intermédio 2 o conjunto de base e manípulo que estiver descrito no cartão *Kanban* que retirou do QK3.
6. O operador do PT3 coloca o *Kanban* do conjunto base e manípulo que retirou do *stock* de produto intermédio 2 no QK2 e regressa ao seu posto com a base e manípulo.
7. O operador do PT3 monta e reabastece o *stock* de produto final e deixa o cartão *Kanban* com o produto final montado por ele.
8. O operador do PT2 observa o QK2 para saber o que deve produzir.
9. O operador do PT2 traz o cartão *Kanban* do QK2 consigo.
10. O operador do PT2 retira o quadrado da base do *stock* de produto intermédio 1 que estiver descrito no cartão *Kanban* que retirou do QK2.

11. O operador do PT2 coloca o cartão *Kanban* do quadrado da base que retirou do stock de produto intermédio 1 no QK1 e regressa ao seu posto com o quadrado da base.
12. O operador do PT2 monta e reabastece o stock de produto intermédio 2 e deixa o cartão *Kanban* com o conjunto de base e manípulo por ele montado.
13. O operador do PT1 observa o QK1 para saber o que deve produzir.
14. O operador do PT1 traz um cartão do QK1 consigo.
15. O operador do PT1 monta e reabastece o stock de produto intermédio 1 e deixa o cartão *Kanban* com o quadrado da base por ele montado.

#### 4.8.3.2. Cartões *Kanban*

Para o sistema *Kanban* descrito anteriormente procedeu-se à construção de nove tipos de *Kanban* distintos (três por cada cor).

Serão apresentados de seguida um cartão *Kanban* de produto final, um cartão para o conjunto de base e manipulo e por fim um cartão *Kanban* para o quadrado da base. É de notar que os restantes cartões são iguais, diferindo apenas na cor e nomenclatura. Na Figura 4-24 encontra-se representado o cartão *Kanban* de produto final amarelo.

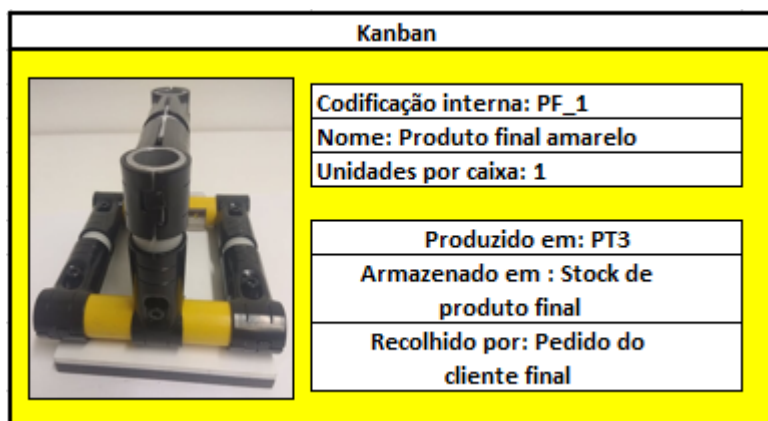


Figura 4-24 Cartão *Kanban* para produto final amarelo

Na Figura 4-25 pode ser observado o cartão *Kanban* do conjunto da base marfim e manípulo.

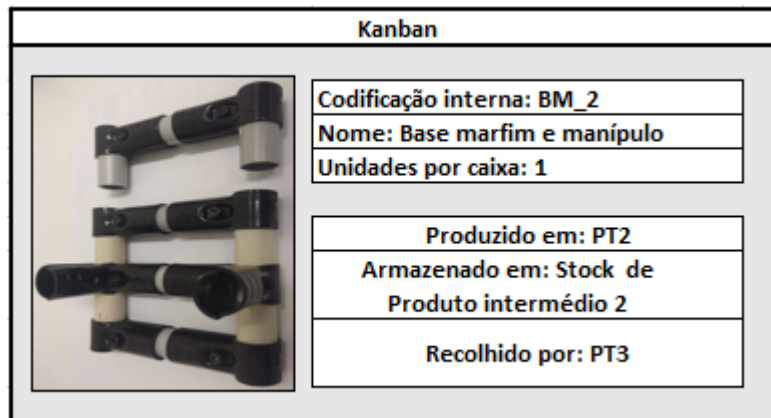


Figura 4-25 Cartão *Kanban* do conjunto de base marfim e manípulo

Na Figura 4-26 encontra-se o cartão *Kanban* do quadrado da base azul.

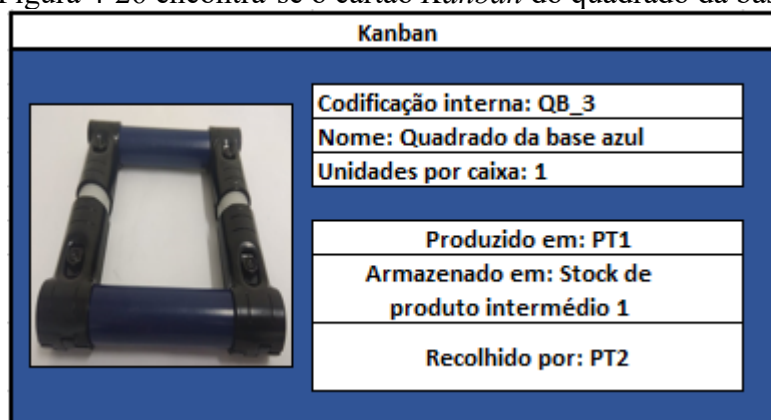


Figura 4-26 Cartão *Kanban* de quadrado da base azul

#### 4.8.3.1. Dimensionamento de *Kanban* para o LabEGI

Para efetuar o dimensionamento de *Kanban*, aplicou-se a equação presente na subsecção 3.10.1.5, com os resultados médios calculados e com um fator de segurança  $\alpha = 0,1$ . Obteve-se valores de 0,3 a 0,4 cartões *Kanban*. Com os resultados obtidos a partir da equação, não faria sentido a implementação do sistema *Kanban*. Este facto deve-se ao baixo *lead-time* do produto e ao reduzido número de componentes que impossibilitava a produção em lotes (que ajudaria a contornar o problema do baixo *lead-time*).



## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principais objetivos o estudo do conceito de *learning factory*, a melhoria de um processo de montagem e a implementação de um sistema *Kanban* no laboratório de Engenharia e Gestão Industrial.

Para um espaço de aprendizagem ser considerado uma LF, é necessário que se verifiquem as seguintes condições: dispor de processos de aprendizagem autênticos, múltiplas estações de trabalho, englobar processos organizacionais e técnicos, apresentar uma configuração alterável que diz respeito a uma verdadeira cadeia de valor, ter pelo menos um produto físico, apresentar um conceito didático que engloba a aprendizagem formal, informal, e não-formal e a aprendizagem dar-se em regime presencial. Estas condições referidas previamente dizem respeito a uma LF no sentido restrito. O LabEGI apresenta potencial para ser uma LF no sentido restrito, com foco na área Lean.

As LF's num sentido amplo apresentam condições semelhantes, mas com diferença em pelo menos numa das seguintes características: a aprendizagem ser efetuada através de aprendizagem remota, ter um serviço como produto em vez de um produto físico ou apresentar uma cadeia de valor que se assemelha a uma cadeia de valor virtual em vez de uma cadeia de valor física. As LF's no sentido restrito conseguem alcançar um desenvolvimento de competências superior às LF's no sentido amplo.

As LF's têm associadas uma aprendizagem ativa em meio industrial, podendo este meio ser real ou virtual. Os tipos de aprendizagem com vertente mais prática tais como simulações em condições reais permitem um desenvolvimento de competências superior ao que se verifica nas formas de ensino tradicionais.

Para além de providenciar um meio realístico de aprendizagem a estudantes e trabalhadores, as LF's podem também ser utilizadas por investigadores para estimular a inovação, demonstração e transferência de processos organizacionais ou de novas tecnologias para a indústria.

As LF's têm suscitado cada vez mais interesse de estudo e de implementação como demonstra a evolução do número de documentos científicos publicados nos últimos anos, verifica-se principalmente um aumento muito significativo na terceira fase de

evolução, começando em cerca de 75 documentos publicados sobre LF no ano de 2011, subindo ao longo dos anos até cerca de 190 documentos publicados no ano de 2015.

Foi criado um modelo consensual na CIRP CWG para a classificação morfológica das LF's, que permite facilitar a descrição das LF's existentes, standardizar o conceito de LF's e servir como ponto de partida para o design e criação de novas LF's. Existe uma tendência de aumento do número de LF's devido às megatendências.

As megatendências que contribuem mais para a necessidade de criação de LF's são globalização, a redução do ciclo de vida dos produtos, as novas tecnologias, a escassez de recursos, *knowledge society*, mudanças demográficas e a instabilidade e insegurança.

As LF's focam-se geralmente no desenvolvimento de competências profissionais e metodológicas, sendo que podem desenvolver se outras competências tal como as competências socio-comunicativas, mesmo que não sejam o alvo primário.

Encontram-se identificadas cinco grandes áreas de formação das LF's, nomeadamente a eficiência de energia e recursos, engenharia industrial, indústria 4.0, Lean e desenvolvimento de produto. Da junção de duas destas áreas, podem surgir subgrupos como por exemplo de Lean 4.0 através da junção de Lean com indústria 4.0. No caso do LabEGI, pode ser considerado que terá capacidade para ser uma LF com foco na área Lean.

No que diz respeito ao potencial das LF's, podem ser identificadas as seguintes vantagens: desenvolvimento de competências dos formandos, providenciar um meio de aprendizagem e investigação, no qual não existem pressões de custos ou de resultados, maior motivação dos formandos e investigadores, aproximar as instituições académicas com as instituições investigacionais e industriais, servem como ponte de ligação para os investigadores demonstrarem e transferirem ferramentas e tecnologias inovadoras para a indústria e por último, contribuir para o desenvolvimento competitivo de uma nação.

As LF's têm limitações ao nível da eficiência, escalabilidade, mobilidade, *mapping ability of issues* e recursos necessários.

No âmbito da aplicação prática do conceito de LF no LabEGI, procedeu-se à melhoria de um processo de montagem, através da ferramenta 5S, elaboração de um procedimento ótimo de montagem, utilização de parafusadora elétrica e desenvolvimento de um gabarito de montagem. Atingiu-se uma redução de cerca de 73,3%, passando dos 14,3 minutos (considerados o ponto de partida), para uma média de 3,8 minutos.

Estudou-se também ciclos de *milk-run* para o cenário de os três postos de trabalho produzirem todos um produto do início ao fim, variando fatores como a distância dos postos de trabalho ao armazém e o número de componentes por caixa. Verificou-se que considerando as médias, apenas haveria falta de peças em duas das doze situações estudadas. Para a obtenção de resultados mais viáveis, poderia efetuar-se simulações com auxílio de ferramentas informáticas como o Simul8, incorporando fatores como a variabilidade dos tempos de processamento, peças defeituosas, erros dos operadores e retrabalho.

Por fim, pretendeu-se implementar um sistema *Kanban* no LabEGI, para isso estabeleceu-se primeiramente o balanceamento da linha, considerando que o produto iria ser montado em três PT consecutivos, com auxílio de ferramentas manuais e gabarito de montagem. Com o balanceamento, obteve-se um tempo médio total de montagem de 289 segundos por produto, sendo que o PT1, PT2 e PT3 apresentam tempos de montagem médios de 99, 98 e 91 segundos respetivamente, desta forma, considerando-se a linha balanceada.

Elaborou-se também um procedimento de montagem que resultasse numa linha de montagem que não se encontre equilibrada, com o propósito de ser apresentado em contexto de LF aos formandos, para terem a possibilidade de ter uma aprendizagem experiencial e resolverem o problema em questão. Poderão também ser apresentados cenários de simulação física de *milk-run* aos futuros formandos, no qual o armazém se encontra desorganizado e numa fase posterior, aplicarem a ferramenta 5S e proceder de novo ao *milk-run* e determinar as reduções de tempo

O sistema *Kanban* idealizado conta com três postos de trabalho, um QK e *stock* intermédio entre cada dois postos de trabalho e um QK e *stock* de produto final após PT3. Existem três produtos diferentes, consequentemente elaborou-se nove cartões *Kanban* diferentes (três tipos de cartões diferentes por cada *stock*). O sistema *Kanban* idealizado para LabEGI, ainda não tem condições para ser apresentado com todo o rigor que uma LF acarreta. Devido aos resultados obtidos nas montagens, o número de *Kanbans* deu 0,3 a 0,4 cartões *Kanban*, desta forma não permitia o uso de mais do que um cartão.

Pela bibliografia, pela aplicação das várias ferramentas mencionadas, tal como a tentativa física de implementação do sistema *Kanban*, conclui-se que todas as ferramentas abordadas no LabEGI em contexto de LF podem ser uma mais valia para os formandos poderem desenvolver competências nestas ferramentas importantes que dificilmente poderiam ser desenvolvidas e retidas através da transmissão passiva de informação.





## 6. TRABALHOS FUTUROS

Numa abordagem futura é necessário que seja efetuada uma caracterização morfológica relativa às 7 dimensões das LF's no LabEGI. Esta caracterização terá de ser efetuada conjuntamente com os decisores do LabEGI, de modo à mesma ficar claramente definida e estar disponível ao público alvo.

O sistema *Kanban* idealizado neste trabalho não conseguiu atingir o rigor necessário, desta forma, numa abordagem futura pode ser efetuado o estudo com produtos que tenham um *lead-time* superior, ou que tenham uma maior quantidade de *stock* para produzir lotes em vez de apenas produtos individuais. Outra forma, mas que iria contra os princípios das LF's, seria ter um supervisor que apenas autorizasse que a peça avançasse passado um determinado intervalo de tempo, “aumentando” o *lead-time* do produto. Após a validação dos resultados, deverão ser efetuadas ensaios reais de funcionamento da linha de montagem. Podendo vir a ser uma mais valia na educação e formação dos futuros formandos.

No LabEGI devido às restrições de tempo, não foram utilizados alguns equipamentos com características de indústria 4.0 que se encontravam à disposição. Poderão ser incorporados os leitores RFID e código de barras, cartões RFID, tal como a implementação de um sistema *Kanban* eletrónico (*e-Kanban*). Nos tablets poderão ser demonstradas instruções de trabalho interativas da montagem do produto da LF. No monitor poderão estar a ser demonstrados dados produtivos como o número de produtos finais produzidos, defeitos de qualidade, níveis de stock, entre outros.

Poderá também considerar-se a aquisição de transportadores como um tapete de rolos para passar os materiais de um posto para o seguinte, produtos físicos que tenham um maior grau de realidade, tal como um cilindro pneumático ou um fogão de campismo. Em relação à parafusadora, verificou-se a limitação da falta de controlo do binário de aperto, desta forma seria importante adquirir também parafusadoras elétricas que permitissem controlar o binário de aperto com finalidade de obter tempos de aperto mais constantes tal como obter um maior rigor nos critérios de qualidade dos produtos.

Na literatura foi referido que estava a ser desenvolvida uma plataforma online na qual era possível observar todas as LF's com a sua respetiva classificação morfológica,

de momento, ainda não existem indícios que esta plataforma esteja em funcionamento, pelo que será importante o seu desenvolvimento. Esta plataforma irá permitir aos interessados escolher a LF que melhor se adequa às suas necessidades e permitirá também uma troca de ideias entre as mesmas, de modo a eliminar a redundância dos tópicos de aprendizagem das LF's que se encontrem próximas, podendo a rede de LF's cobrir uma maior gama de necessidades e desafios.

A comunidade científica das LF's deve explorar e desenvolver formas de combater as limitações das LF's através da padronização, das tecnologias de informação e comunicação, da medição do sucesso de aprendizagem, LF's de baixo custo e dimensões reduzidas, *e-Learning* entre outros, tendo em conta sempre o *trade-off* (Tisch & Metternich, 2017). Com estas pesquisas futuras, poderá ser possível criar condições para a abertura de ainda mais LF's com cada vez mais qualidade e potencial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abele, E. (2016). Learning Factory. In T. I. A. for Produ, L. Laperrière, & G. Reinhart (Eds.), *CIRP Encyclopedia of Production Engineering* (pp. 1–5). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7\\_16828-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16828-1)
- Abele, E., Chryssolouris, G., Sihn, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger, G., ... Seifermann, S. (2017). Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(2), 803–826. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.005>
- Abele, E., Metternich, J., & Tisch, M. (2018). *Learning Factories. Learning Factories*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92261-4>
- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, H., ... Ranz, F. (2015). Learning factories for research, education, and training. In *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187>
- Abele, E., & Metternich, M. J. (2015). Zero Defects in Learning Factories: Excellence in education of manufacturing engineerin. Retrieved April 10, 2019, from [http://www.ttf.unizg.hr/b-news/news\\_upload\\_files/2015/vijest\\_30-09-2015\\_560b71134b21c/EFFRA\\_Partner\\_search\\_prezentacija\\_FoF-03.pdf](http://www.ttf.unizg.hr/b-news/news_upload_files/2015/vijest_30-09-2015_560b71134b21c/EFFRA_Partner_search_prezentacija_FoF-03.pdf)
- Adolph, S., Tisch, M., & Metternich, J. (2014). Challenges and approaches to competency development for future production. *Journal of International Scientific Publications*.
- Blume, S., Madanchi, N., Böhme, S., Posselt, G., Thiede, S., & Herrmann, C. (2015). Die lernfabrik-research-based learning for sustainable production engineering. *Procedia CIRP*, 32(Clif), 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.113>
- Böhner, J., Weeber, M., Kuebler, F., & Steinhilper, R. (2015). Developing a learning factory to increase resource efficiency in composite manufacturing processes. *Procedia CIRP*, 32(Clif), 64–69. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.05.003>
- Center for Educational Innovation, U. of M. (n.d.). Active Learning.
- Chiarini, A. (2012). *Chiarini, A. (2012). Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office: From the Tools of the Toyota Production System to Lean Office (Vol. 3). Springer*.
- Dassisti, M., & Semeraro, C. (2017). Smart Sustainable Manufacturing : a new Laboratory-Factory concept to test Industry 4 . 0 principles.
- EEA, E. E. A. (2015). *European environment — state and outlook 2015: Assessment of global megatrends*. <https://doi.org/10.2800/126936>
- Enke, J., Glass, R., Kreß, A., Hambach, J., Tisch, M., & Metternich, J. (2018). Industrie 4.0 - Competencies for a modern production system: A curriculum for Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, 23(April), 267–272.

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.028>

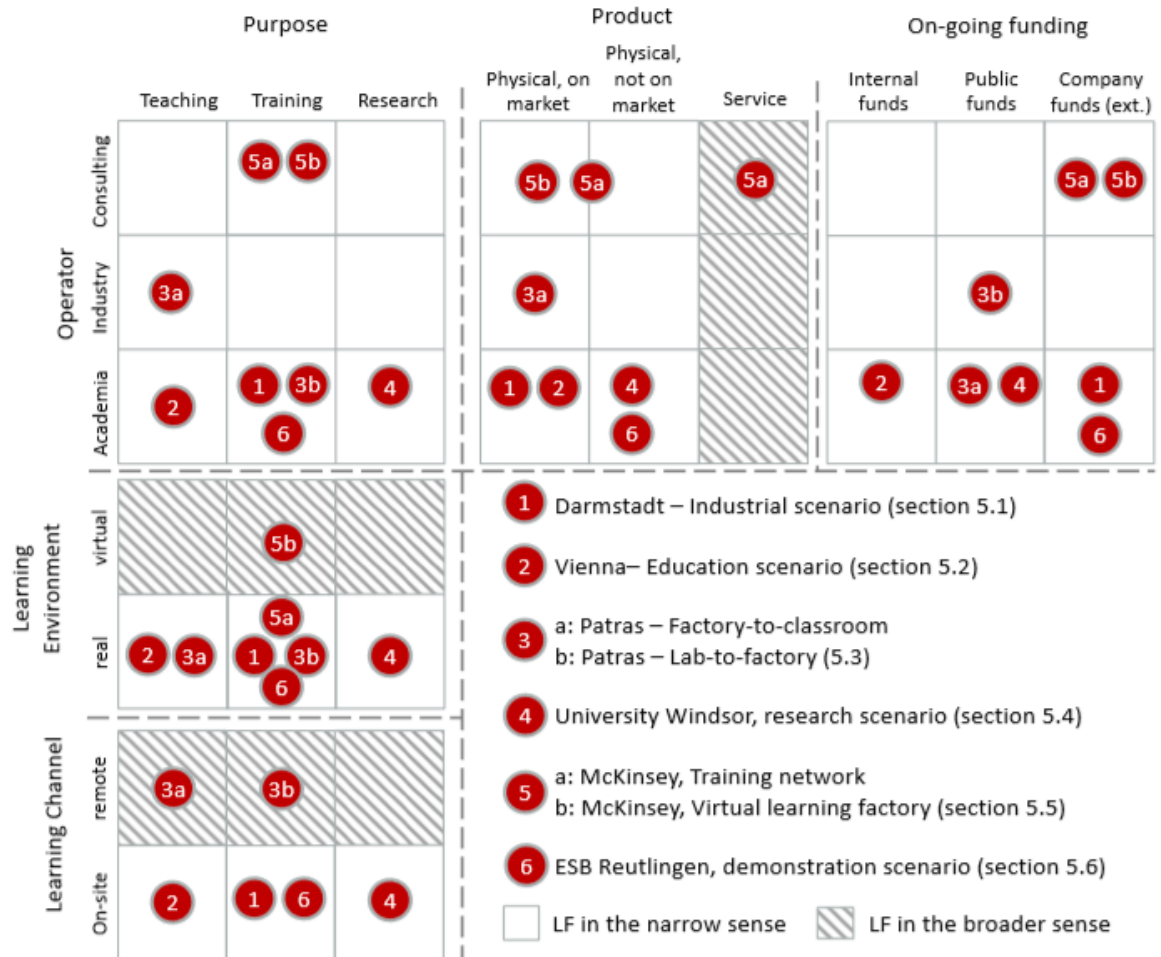
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihm, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP*, 54, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162>
- Glass, R., Miersch, P., & Metternich, J. (2018). Influence of learning factories on students' success - A case study. *Procedia CIRP*, 78, 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.307>
- Goerke, M., Schmidt, M., Busch, J., & Nyhuis, P. (2015). Holistic approach of lean thinking in learning factories. In *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.221>
- Gross, J. M., & McInnis, K. R. (2003). *Kanban made simple: demystifying and applying Toyota's legendary manufacturing process*. New York: Amacom. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Heyse, V., & Erpenbeck, J. (2004). Kompetenztraining. *Informations-Und Trainingsprogramme*, 2.
- IALF. (n.d.). History of IALF. Retrieved March 23, 2019, from <https://ialf-online.net/index.php/history.html>
- Kreimeier, D., Morlock, F., Prinz, C., Krückhans, B., & Bakir, D. C. (2014). Holistic learning factories - A concept to train lean management, resource efficiency as well as management and organization improvement skills. *Procedia CIRP*, 17, 184–188. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.040>
- Lamancusa, J. S., Zayas, J. L., Soyster, A. L., Relations, U., Packard, H., & Jorgensen, J. (2008). The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning. *Journal of Engineering Education*, 97(1), 5–11. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00949.x>
- Lanza, G., Moser, E., Stoll, J., & Haefner, B. (2015). Learning factory on global production. *Procedia CIRP*, 32(Clif), 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.081>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. Action Learning Research and Practice.
- Matt, D. T., Rauch, E., & Dallasega, P. (2014). Mini-factory - A learning factory concept for students and small and medium sized enterprises. In *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.057>
- Micheu, H.-J., & Kleindienst, M. (2014). A Learning Factory for Practical Knowledge Transfer. *ZWF Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 109(6), 403–407. <https://doi.org/10.3139/104.111160>
- Monden, Y. (2012). *The Toyota Production System — An Integrated Approach to Just-In-Time*. CRC Press Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1108/eb054703>
- Müller-Frommeyer, L. C., Aymans, S. C., Bargmann, C., Kauffeld, S., & Herrmann, C. (2017). Introducing Competency Models as a Tool for Holistic Competency Development in Learning Factories: Challenges, Example and Future Application. *Procedia Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.015>

- Murino, T., Naviglio, G., & Romano, E. (2010). Optimal size of kanban board in a single stage multi product system. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 5(6), 464–473.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. crc Press.
- Prifti, L., Knigge, M., Kienegger, H., & Krcmar, H. (2017). A Competency Model for “Industrie 4.0” Employees. *Wirtschaftsinformatik*, 46–60. Retrieved from <https://www.wi2017.ch/images/wi2017-0262.pdf>
- Prinz, C., Kreggenfeld, N., & Kuhlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0 - A practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing*, 23(2017), 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.155>
- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2016). Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.105>
- Prozesslernfabrik, C. P. (n.d.). Geschichte der Prozesslernfabrik CiP am PTW. Retrieved March 23, 2019, from <https://www.prozesslernfabrik.de/index.php/ueberblick/geschichte>
- Rentzos, L., Mavrikios, D., & Chryssolouris, G. (2015). A two-way knowledge interaction in manufacturing education: The teaching factory. *Procedia CIRP*, 32(C1f), 31–35. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.082>
- Simons, S., Abé, P., & Nesar, S. (2017). Learning in the AutFab – The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. *Procedia Manufacturing*, 9, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.023>
- Statista. (2017). Global megatrends - Statistics & Facts. Retrieved April 6, 2019, from <https://www.statista.com/topics/3512/global-megatrends/>
- Stavropoulos, P., Bikas, H., & Mourtzis, D. (2018). Collaborative Machine Tool design: The Teaching Factory paradigm. *Procedia Manufacturing*, 23(2017), 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.004>
- Technische Universität Wien, P. I. 4. . (n.d.). Anwendungsfelder. Retrieved April 16, 2019, from <http://pilotfabrik.tuwien.ac.at/inhalte/anwendungsfelder/>
- Thürer, M., Stevenson, M., & Protzman, C. (2016). *Card-based control systems for a lean work design: The fundamentals of Kanban, ConWIP, POLCA, and COBACABANA. Card-Based Control Systems for a Lean Work Design: The Fundamentals of Kanban, ConWIP, POLCA, and COBACABANA.* <https://doi.org/10.1201/b19735>
- Tisch, M., & Metternich, J. (2017). Potentials and Limits of Learning Factories in Research, Innovation Transfer, Education, and Training. *Procedia Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.027>
- Tisch, M., Abele, E., Metternich, J., & Vera, H. (2015). Learning Factory Morphology – Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain Learning Factory Morphology – Study Of Form And

Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain,  
(August).

Veza, I., Gjeldum, N., & Mladineo, M. (2015). Lean learning factory at FESB -  
University of Split. *Procedia CIRP*, 32(C1f), 132–137.  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.223>

## ANEXO A



Anexo A- Exemplos de *learning factories* com diferentes cenários de aplicação (Abele et al., 2015)

## ANEXO B

1.1	operator	academic institution			non-academic institution				profit-oriented operator		
		university	college	BA	vocational school / high school	chamber	union	employers' association	industrial network	consulting	producing company
1.2	trainer	professor	researcher		student assistant	technical expert / int. specialist		consultant	education- alist		
1.3	development	own development			external assisted development			external development			
1.4	initial funding	internal funds			public funds			company funds			
1.5	ongoing funding	internal funds			public funds			company funds			
1.6	funding continuity	short term funding (e.g. single events)			mid term funding (projects and programs < 3 years)			long term funding (projects and programs > 3 years)			
1.7	business model for trainings	open models				closed models (training program only for single company)					
		club model		course fees							

Anexo B1- Primeira dimensão de morfologia - Modelo operacional (Tisch et al., 2015)

2.1	main purpose	education			vocational training				research						
2.2	secondary purpose	test environment / pilot environment			industrial production		innovation transfer		advertisement for production						
2.3	target groups for education & training	pupils	students			employees						entrepreneurs	freelancer	unemployed	open public
			bachelor	master	phd students	apprentices	skilled workers	semi-skilled worker	unskilled	managers					
							lower mgmt	middle mgmt	top mgmt						
2.4	group constellation	homogenous			heterogenous (Knowledge level, hierarchy, students+employees, etc.)										
2.5	targeted industries	mechanical & plant eng.		automotive	logistics	transportation	FMCG	aerospace							
		chemical industry		electronics	construction	insurance / banking	textile industry	...							
2.6	subject-rel. learning contents	prod. mgmt & org.	resource efficiency	lean mgmt	automation	CPPS	work system design	HMI	design	Intralogistics design & mgmt	...				
2.7	role of LF for research	research object					research enabler								
2.8	research topics	production management & organization		resource efficiency	lean mgmt.	automation	CPPS	changeability	HMI	didactics	...				

Anexo B2 – Alvos e propósito (Tisch et al., 2015)



3.1	product life cycle	product planning	product development	product design	rapid prototyping	manufacturing	assembly	logistics	service	recycling
3.2	factory life cycle	investment planning	factory concept	process planning	ramp-up				main-tenance	recycling
3.3	order life cycle	configuration & order	order sequencing	production planning and scheduling					picking, packaging	shipping
3.4	technology life cycle	planning	development	Virtual testing					main-tenance	moderni-zation
3.5	indirect functions	SCM	sales	purchasing	HR	finance / controlling	QM			
3.6	material flow	continuous production			discrete production					
3.7	process type	mass production	serial production		small series production		one-off production			
3.8	manufact. organization	fixed-site manufacturing	work bench manufacturing		workshop manufacturing		flow production			
3.9	degree of automation	manual		partly automated / hybrid automation			fully automated			
3.10	manufact. methods	cutting	trad. primary shaping	additive manufact.	forming	joining	coating	change material properties		
3.11	manufact. technology	physical		chemical			biological			

Anexo B3- Terceira dimensão de morfologia - Processo (Tisch et al., 2015)

4.1	learning environment	purely physical (planning + execution)	physical LF supported by digital factory (see line "IT-Integration")		physical value stream of LF extended virtually		purely virtual (planning + execution)	
4.2	environment scale	scaled down			life-size			
4.3	work system levels	work place	work system		factory		network	
4.4	enablers for changeability	mobility	modularity	compatibility	scaleability	universality		
4.5	changeability dimensions	layout & logistics	product features	product design		technology	product quantities	
4.6	IT-integration	IT before SOP (CAD, CAM, simulation)		IT after SOP (PPS, ERP, MES)			IT after production (CRM, PLM...)	

Anexo B4- Quarta dimensão de morfologia - Configuração (Tisch et al., 2015)

5.1	materiality	material (physical product)			immaterial (service)		
5.2	form of product	general cargo			bulk cargo		
5.3	product origin	own development	development by participants		external development		
5.4	marketability of product	available on the market	available on the market but didactically simplified	functional, could be available on the market		without function/ application, for demonstration only	
5.5	no. of different products	1 product	2 products	3-4 products	> 4 products	flexible, developed by participants	acceptance of real orders
5.6	no. of variants	1 variant	2-4 variants	4-20 variants	...	flexible, depending on participants	determined by real orders
5.7	no. of components	1 comp.	2-5 comp.	6-20 comp.	21-50 comp.	51-100 comp.	> 100 comp.
5.8	further product use	re-use / re-cycling	exhibition / display	give-away		sale	disposal

Anexo B5- Quinta dimensão de morfologia - Produto (Tisch et al., 2015)

6.1	competence classes	technical and methodological competencies	social & communication competencies		personal competencies	activity and implementation oriented competencies	
6.2	dimensions learn. targets	cognitive		affective		psycho-motorical	
6.3	learn. scenario strategy	instruction	demonstration	closed scenario		open scenario	
6.4	type of learn. environment	greenfield (development of factory environment)			brownfield (improvement of existing factory environment)		
6.5	communication channel	onsite learning (in the factory environment)			remote connection (to the factory environment)		
6.6	degree of autonomy	instructed		self-guided/ self-regulated		self-determined/ Self-organized	
6.7	role of the trainer	presenter	moderator	coach		instructor	
6.8	type of training	tutorial	practical lab course	seminar	workshop	project work	
6.9	standardization of trainings	standardized trainings			customized trainings		
6.10	theoretical foundation	prerequisite	in advance (en bloc)	alternating with practical parts	based on demand	afterwards	
6.11	evaluation levels	feedback of participants	learning of participants	transfer to the real factory	economic impact of trainings	return on trainings / ROI	
6.12	learning success evaluation	knowledge test (written)	knowledge test (oral)	written report	oral presentation	practical exam	none

Anexo B6- Sexta dimensão de morfologia - Didática (Tisch et al., 2015)

7.1	no. of participants per training	1-5 participants	5-10 participants	10-15 participants	15-30 participants	>30 participants	
7.2	no. of standardized trainings	1 training	2-4 trainings	5-10 trainings	> 10 trainings		
7.3	aver. duration of a single training	< 1 day	1-2 days	3-5 days	5-10 days	10-20 days	> 20 days
7.4	participants per year	< 50 participants	50-200 participants	201-500 participants	501-1000 participants	> 1000 participants	
7.5	capacity utilization	< 10%	10 – 20%	21 – 50 %	51 – 75 %	76 – 100 %	
7.6	size of LF	< 100 sqm	100 – 300 sqm	300-500 sqm	500-1000 sqm	> 1000 sqm	
7.7	FTE in LF	< 1	2-4	5-9	10-15	> 15	

Anexo B7- Sétima dimensão de morfologia - Métricas da *learning factory* (Tisch et al., 2015)

## ANEXO C


	(Statista, 2017)	(EEA, 2015)	Taisch (2012)	Abele, Reinhart (2011)	Krys (2011)	Herrman (2010)	Grönmling (2009)	Jovane, Westkämper (2009)	Arndt (2008)	Schneidermann (2006)	Wartenberg, Haß	Graf (2000)	Warnecke (1999)
<b>Globalização</b>			X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	
<b>Redução do ciclo de vida dos produtos</b>			X	X		X			X				
<b>Novas tecnologias/networking</b>	X	X	X	X	X	X	X	O	O	X	X	X	X
<b>Escassez de recursos</b>	X	X		X	X	X	X	X		O		X	O
<b>Knowledge society</b>				X	X	X	X	X				X	X
<b>Maior exigência dos clientes</b>						O			X				
<b>Serviços em ambiente industrial</b>						X					X		X
<b>Mudanças demográficas</b>	X			X	X	X	X	X			X		
<b>Instabilidade e segurança</b>	X	X		X		X	X			X			
<b>Investimentos e infraestruturas</b>						O	X	O			X		
<b>Alterações climáticas e do Ambiente</b>	X	X	X	X	X	X	X	X		O			X
<b>Mobilidade</b>		X	X	X		X	O	X					
<b>Welfare orientation/orientação de bem-estar</b>						X	X	X					
<b>Market of the future quality of life</b>				X		O		X					

X - Menciona explicitamente as megatendências.

O - Menciona indiretamente ou marginalmente a megatendência.

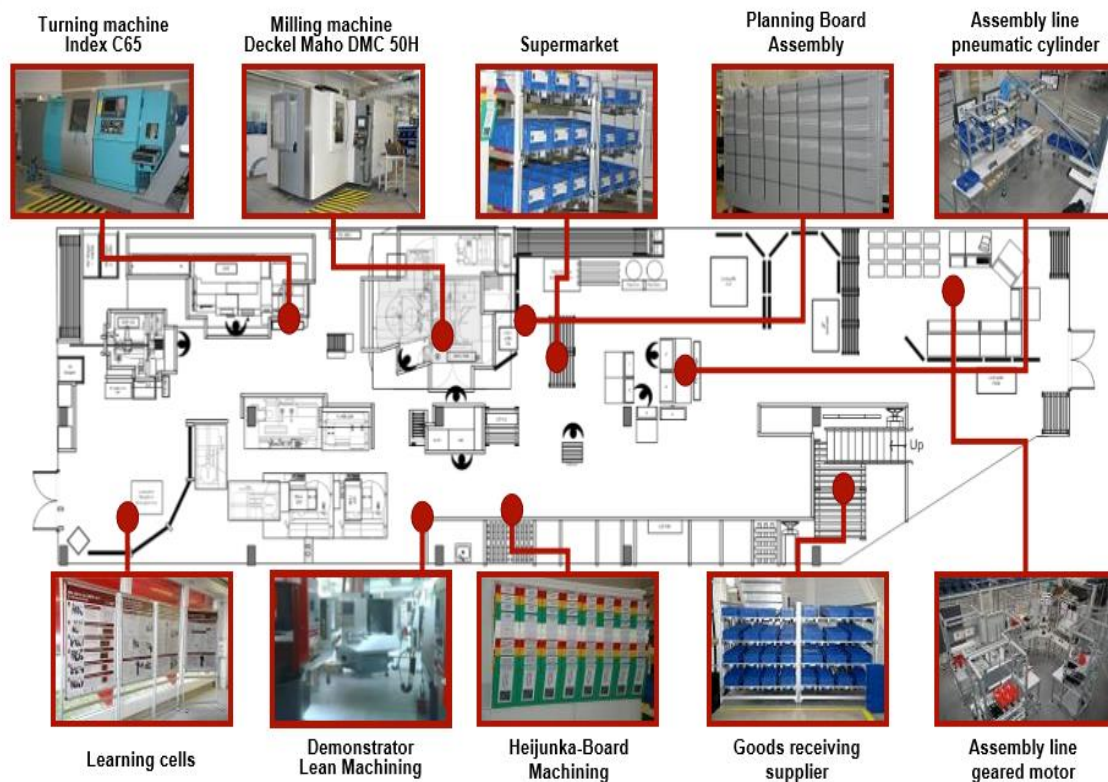
Anexo C1- Megatendências segundo diversos autores. Adaptado e complementado de (Adolph et al., 2014)

## ANEXO D



Realistic Environment	Real Products	Educational Offers
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 500 m<sup>2</sup> space</li> <li>• 2 machining lines with 9 machine tools</li> <li>• 2 assembly lines</li> <li>• Cleaning and QA</li> <li>• Shopfloor-Management</li> <li>• Learning-cells</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pneumatic cylinder (entire value stream incl. production planning process)</li> <li>• Gear motor (high-variant assembly)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curriculum with 15 Workshops in 27 days:</li> <li>• Lean Basics (2+2+2)</li> <li>• Lean Material Flow (2+2+2)</li> <li>• Lean Machining (2+2+1)</li> <li>• Lean Quality (2+2+2)</li> <li>• Lean Thinking (1+2+1)</li> </ul>

Anexo D1- Ambiente de ensino, produtos e oferta educacional da CiP Prozesslernfabrik (Abele & Metternich, 2015)

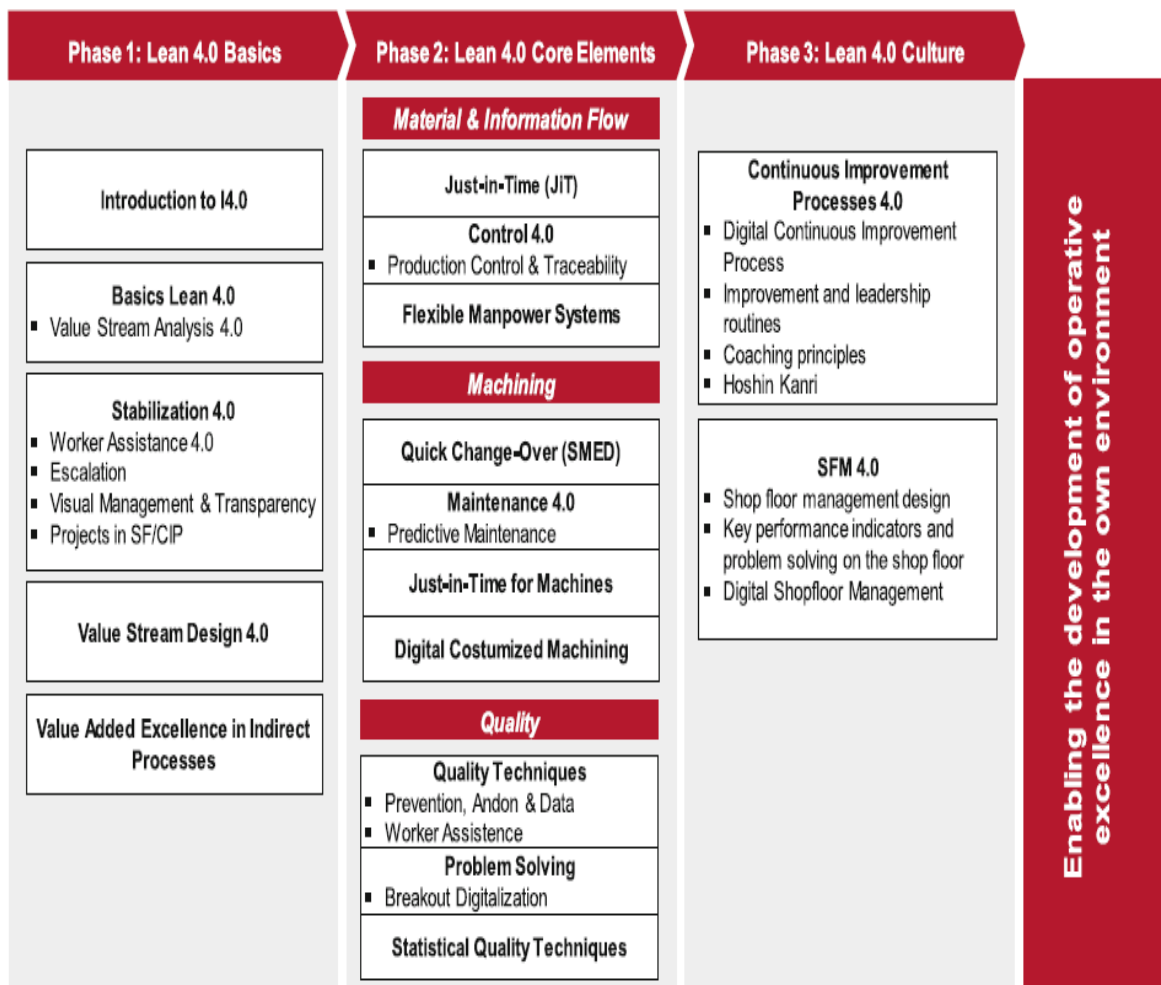


Anexo D2- Equipamentos e Layout da CiP Prozesslernfabrik (Abele & Metternich, 2015)

## ANEXO E

Challenges within the production	Possible solution regarding lean management methods	Possible solution regarding Industrie 4.0 technologies
Overproduction	Pull	CPPS
Missing standards	5S	
Central production controll	Pull	CPPS
Material flow	Pull	CPPS, Smart product
Vast processes	Kanban, Genchi genbutsu/ go to gemba	CPPS
Process errors	Poka yoke	Digital Kanban, Real-time visualization
Deficient products	Jidoka	Assistance systems, Augmented Reality
Challenges within the production	Possible solution regarding lean management methods	Possible solution regarding Industrie 4.0 technologies
Volatile customer demand	Heijunka	CPPS
Machine failure	-	Assistance systems, Augmented Reality
Worker absence	-	Assistance systems
Worker failure	-	Assistance systems, Augmented Reality
Volatile supply chain	-	CPPS
Scenario Planning	-	Simulation, Virtual Reality
Data consistency	-	OPC Standard, Digitization
Product tracing and tracking	-	CPS,  QR-Codes,  NFC
Data collection	-	BDE/MDE,   Big Data

**Anexo E1-** Desafios na produção e soluções Lean e Indústria 4.0 (Prinz et al., 2018)



Anexo E2- As três etapas de ensino de Lean 4.0 na CIP Prozesslernfabrik (Abele et al., 2018)

## ANEXO F



**Anexo F1-**Diversas formas de active learning (Center for Educational Innovation, n.d.)


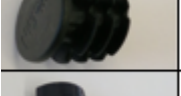



## APÊNDICE A

Apêndice A1- Inventário do Laboratório de Engenharia e Gestão Industrial

INVENTÁRIO-LABORATÓRIO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDÚSTRIAL								
Artigo/Item	Nº It	Nome	Cor	Codificação interna	Referência do fornecedor	Código de Barra	Descrição	Quantidade no inventário
	1	Tubo grande	Amarelo	T1	T-2820Y	9009800000366	Tubo de Aço de cor Amarela Plástico	12
	2	Tubo grande	Marfim	T2	T-2810 M	9001380000366	Tubo de Aço de cor Marfim Plástico	12
	3	Tubo grande	Azul	T3	T-2820 A	9001380000360	Tubo de Aço de cor Azul Plástico	12
	4	Tubo pequeno	Cinza	T4	T-2810 C	9000052000189	Aço Plástico 1MM (4M)	107
	5	Base de PVC e espuma	Branco	B1	PVC-50	9001380000360	Base de PVC branca com espuma	12
	6	Base de PVC e espuma	Preto	B2	PVC-50	9001380000360	Base de PVC preta com espuma	10

Continua na página seguinte.







Artigo/Item	Nº Ité	Nome	Cor	Codificação interna	Referência do fornecedor	Código de Barra	Descrição	Quantidade no inventário
	7	Parafuso ponta afiada	Cinzentos	P1	PM4-P 16	9000045000066	Auto Roscante M4 P/Tempos	38
	8	Parafuso ponta plana	Preto	P2	PM6-P	9002301000506	Parafuso M6 P/Juntas	249
	9	Porca	Preto	PS	FM6-P	9001311000506	Porca P/ Juntas	347
	10	Terminal Plástico	Preto	TP	PL-04P	9002066000186	Cobertura extremidade	90
	11	Junta	Preto	J1	J-01P	9001380000360	Junta Metálica aplicada aos pares	216
	12	Junta	Preto	J2	J-02P	9001410000063	Junta Metálica de União Interior	36

Continua na página seguinte.

APÊNDICE A

Artigo/Item	Nº It	Nome	Cor	Codificação interna	Referência do fornecedor	Código de Barra	Descrição	Quantidade no inventário
	13	Junta	Preto	J3	J-03P	9001434000063	Junta Metálica de União Exterior	35
	14	Junta	N/A	J4	FQ-BM	9001342000063	Junta Metálica (Contorno)	43
	15	Peça modelo	N/A	PM	N/A	N/A	Peça Modelo sem base de PVC	1
	16	Chave sextavada	Vermelho e preto	CS	5CRVMD	8691486013770	Chave Sextavada interior para apertar P2	3
	17	Chave de fendas	Amarelo e preto	CF	PH2	7610733001569	Chave de fendas para apertar P1	3
	18	Carrinho	N/A	CT	N/A	N/A	Transporte e abastecimento	1

Continua na página seguinte.

Artigo/Item	Nº It	Nome	Cor	Codificação interna	Referência do fornecedor	Código de Barra	Descrição	Quantidade no inventário
	19	Posto de trabalho	N/A	PT	N/A	N/A	Postos de montagem do produto físico	3
	20	Caixas pequenas	Cinzento	CP	EG21512	N/A	Caixa para peças soltas	42
	21	Caixas grandes	Azul	G1	N/A	N/A	Caixa para transportar estruturas montadas do PT1 para PT2	3
	22	Caixas grandes	Cinzento	G2	N/A	N/A	Caixa para peças T1, T2 e T3	22
	23	Caixas grandes	Verde	G3	N/A	N/A	Caixa para transportar estruturas montadas do PT2 para PT3	3
	24	Armazém	N/A	AR	N/A	N/A	Postos de Armazenamento/Stock	3

Continua na página seguinte.

APÊNDICE A

Artigo/Item	Nº It	Nome	Cor	Codificação interna	Referência do fornecedor	Código de Barra	Descrição	Quantidade no inventário
	25	Quadro Kanban	Branco	QK	N/A	N/A	Quadro Kanban	3
	26	Impressora 3D	Preto e laranja	3D	I3 MK2	N/A	Impressora 3D. Marca Prusa	1
	27	Monitor	Preto	MO	49UJ630V-ZA	N/A	Monitor e comando remoto. Marca LG	1
	28	Tablet	Preto	TB	TAB4 10	0191376161119	Tablet 10,1". Marca Lenovo	5
	29	Leitor de código de Barras	Amarelo e Preto	LC	LS-6020 SR2016	N/A	Leitor de código de barras laser. Marca Sitten	5
	30	Leitor RFID	Braco/Transparente	LR	N/A	N/A	Leitor RFID	5
	31	Cartão RFID	Branco	CR	N/A	N/A	Cartão RFID	20

## APÊNDICE B



**Apêndice B1-** Posto de trabalho da linha de montagem

## APÊNDICE C

Todas as abreviaturas no Apêndice C encontram-se descritas no Apêndice A1

**Apêndice C1-** Procedimento de montagem para a linha de montagem balanceada

	Tarefa	Descrição da tarefa	Tempo estimado (média (s))	Tempo estimado por posto de trabalho (média (s))
Posto de trabalho 1	1	Colocar 4 PS no gabarito	8	99
	2	Colocar 4 J1 em cima das PS	10	
	3	Colocar dois tubos T4 entre as J1	4	
	4	Colocação de dois Tubo Grandes	5	
	5	Colocação de 4 J1 para fechar as extremidades do Tubo grande	14	
	6	Enroscar manualmente 4 P2	22	
	7	Apertar com CS os 4 P2	38	
Posto de trabalho 2	8	Colocação de 2 P2 por cima do encaixe do parafuso do gabarito	4	98
	9	Colocação de 2 J3 em cima dos P2	6	
	10	Colocação do quadrado da base em cima dos J3, alinhar e encaixar e tirar fora do gabarito	12	
	11	Colocação de 2 PS para o manípulo	6	
	12	Colocação de 2 J1 em cima das PS do manípulo	5	
	13	Colocação de 3 T4 em cima das juntas do manípulo e um T4 em cima da J3	7	
	14	Colocação de 2 J1 para fechar o manípulo	8	
	15	Colocação de 2 J2 em cima de J3	7	
	16	Enroscar manualmente 2 P2 no manípulo	12	
	17	Colocação de 2 PS no P2 da junção J2-J3	14	
	18	Apertar os 2 P2 do manípulo com CS	18	
Posto de trabalho 3	19	Enroscar 2 P2 e PS na união horizontal J2-J3 (enroscar ligeiramente)	15	91
	20	Encaixar o manípulo na união J2-J3	6	
	21	Apertar 4 P2 com CS (todos das uniões J2-J3)	30	
	22	Colocação da Base PVC na mesa (B1 ou B2), retirar 2 juntas metálicas J4 e 2 P1, fazer passar o P1 pelas pelo orifício de J4 e parafusar com a ferramenta CF as duas juntas à base de PVC	35	
	23	Encaixar a estrutura na base de PVC (B1 ou B2)	4	
		<b>Tempo total estimado para a realização de uma montagem completa</b>	<b>289</b>	

**Apêndice C2-** Média e desvio padrão dos tempos resultantes dos 10 ensaios para a linha balanceada

	Tarefa	Média do tempo da tarefa (s)	Desvio padrão da tarefa (s)	Média de tempo da carga de trabalho de cada posto (s)	Desvio padrão do tempo da carga de trabalho de cada posto (s)
<b>Posto de trabalho 1</b>	1	8	1,10	99,4	8,39
	2	10	1,34		
	3	4	0,66		
	4	5	0,46		
	5	14	1,73		
	6	22	2,84		
	7	38	9,46		
<b>Posto de trabalho 2</b>	8	4	0,77	98,2	3,46
	9	6	1,00		
	10	12	2,57		
	11	6	1,00		
	12	5	0,75		
	13	7	1,45		
	14	8	1,40		
	15	7	1,78		
	16	12	2,15		
	17	14	2,53		
	18	18	1,78		
<b>Posto de trabalho 3</b>	19	15	2,58	91,3	7,66
	20	6	4,63		
	21	30	2,95		
	22	35	2,06		
	23	4	1,08		



## Apêndice C3- Ensaios de montagem efetuados no posto de trabalho 1

Posto de trabalho 1												
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9	Ensaio 10	Média (s)	Desvio Padrão (s)
Tarefa 1 (s)	9	8	9	10	6	7	8	8	8	7	8	1,1
Tarefa 2 (s)	11	12	8	12	10	10	10	8	10	9	10	1,3
Tarefa 3 (s)	3	4	3	5	4	3	3	4	3	4	3,6	0,7
Tarefa 4 (s)	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5	4,7	0,5
Tarefa 5 (s)	14	14	17	11	12	13	12	16	14	14	13,7	1,7
Tarefa 6 (s)	22	21	20	25	28	20	21	17	23	22	21,9	2,8
Tarefa 7 (s)	32	29	36	32	36	40	64	34	32	40	37,5	9,5
Tempo por PT1 (s)	96	93	98	100	100	97	123	92	94	101		
Média carga de trabalho PT1(s)	99,4											
Desvio padrão na carga de trabalho PT1 (s)=	8,4											

## Apêndice C4-Ensaios de montagem efetuados no posto de trabalho 2

Posto de trabalho 2												
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9	Ensaio 10	Média (s)	Desvio Padrão (s)
Tarefa 8 (s)	4	4	3	3	5	5	4	4	5	3	4	0,8
Tarefa 9 (s)	8	7	6	6	4	6	5	6	6	6	6	0,8
Tarefa 10 (s)	12	14	8	7	10	12	15	15	12	12	11,7	2,6
Tarefa 11 (s)	6	6	6	7	6	6	4	5	4	7	5,7	1,0
Tarefa 12 (s)	5	6	6	5	5	6	5	6	4	4	5,2	0,8
Tarefa 13 (s)	8	8	7	6	5	5	7	7	10	8	7,1	1,4
Tarefa 14 (s)	10	7	6	9	9	6	8	9	6	8	7,8	1,2
Tarefa 15 (s)	6	7	7	5	5	10	10	6	7	5	6,8	1,8
Tarefa 16 (s)	14	13	15	14	10	10	8	11	10	12	11,7	2,0
Tarefa 17 (s)	10	11	14	16	15	12	17	15	18	12	14	2,2
Tarefa 18 (s)	16	17	20	16	20	19	19	18	21	16	18,2	1,6
Tempo por PT2	99	100	98	94	94	97	102	102	103	93		
Média carga de trabalho PT2(s)=	98,2											
Desvio padrão na carga de trabalho PT2=	3,5											

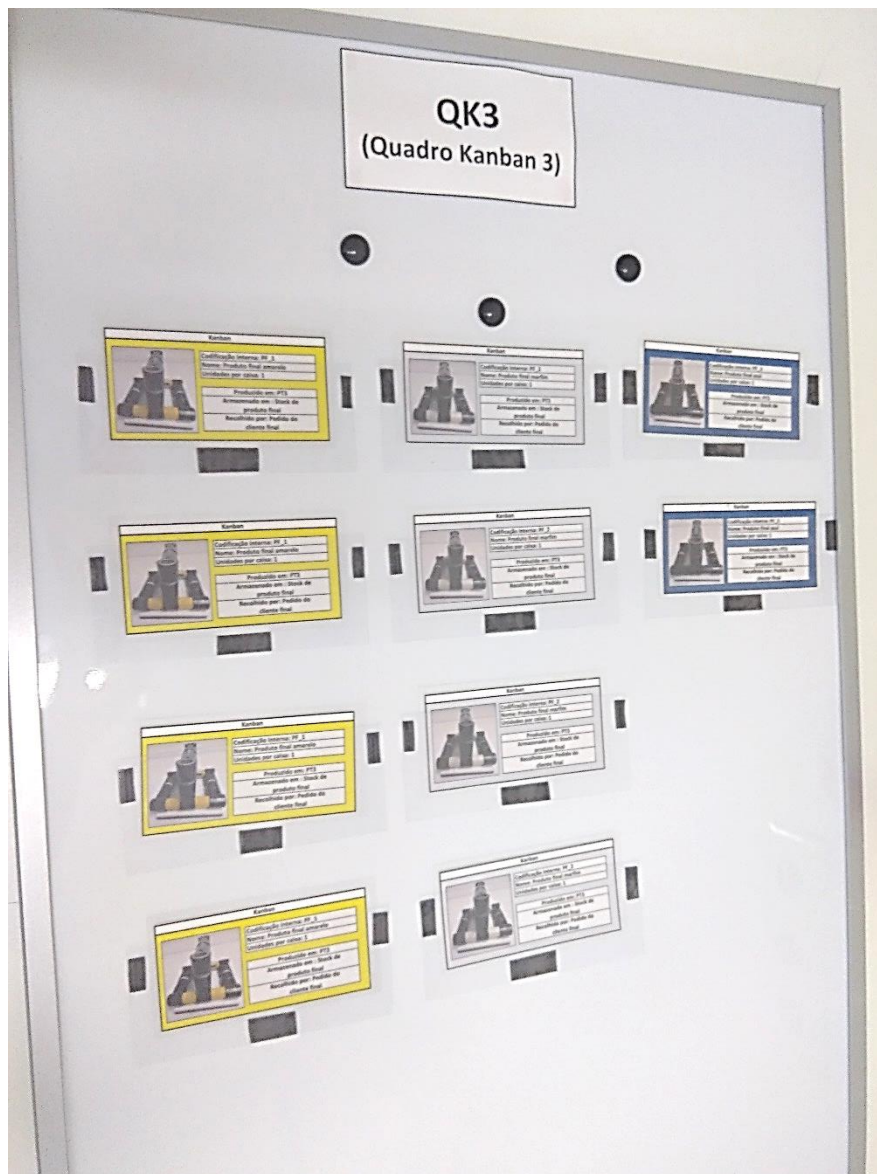
**Apêndice C5-Ensaio de montagem efetuados no posto de trabalho 3**

<b>Posto de trabalho 3</b>												
	<b>Ensaio 1</b>	<b>Ensaio 2</b>	<b>Ensaio 3</b>	<b>Ensaio 4</b>	<b>Ensaio 5</b>	<b>Ensaio 6</b>	<b>Ensaio 7</b>	<b>Ensaio 8</b>	<b>Ensaio 9</b>	<b>Ensaio 10</b>	<b>Média (s)</b>	<b>Desvio Padrão (s)</b>
<b>Tarefa 19 (s)</b>	16	17	17	13	12	16	21	13	13	16	15,4	2,5
<b>Tarefa 20 (s)</b>	20	4	4	5	7	4	6	5	5	4	6,4	4,4
<b>Tarefa 21 (s)</b>	32	26	26	30	31	32	31	34	32	25	29,9	2,8
<b>Tarefa 22 (s)</b>	38	36	36	38	34	36	37	31	34	34	35,4	2,0
<b>Tarefa 23 (s)</b>	4	4	4	3	3	6	5	6	3	4	4,2	1,0
<b>Tempo por PT3 (s)</b>	110	87	87	89	87	94	100	89	87	83		
<b>Média carga de trabalho PT3 (s)</b>	91,3											
<b>Desvio padrão na carga de trabalho PT 3 (s)</b>	7,7											

Apêndice C6- Procedimento de montagem para linha mal balanceada em âmbito de LF

	Tarefa	Descrição da tarefa	tempo estimado (s)	tempo estimado por posto de trabalho (s)
Posto de trabalho 1	1	Colocar 4 PS no gabarito	8	121
	2	Colocar 4 J1 em cima das PS	10	
	3	Colocar dois tubos T4 entre as J1	4	
	4	Colocação de dois Tubo Grandes	5	
	5	Colocação de 4 J1 para fechar as extremidades do Tubo grande	14	
	6	Enroscar manualmente 4 P2	22	
	7	Apertar com CS os 4 P2	38	
	8	Colocação de 2 P2 por cima do encaixe do parafuso do gabarito	4	
	9	Colocação de 2 J3 em cima dos P2	6	
	10	Colocação do quadrado da base em cima dos J3, alinhar e encaixar e tirar fora do gabarito	12	
Posto de trabalho 2	11	Colocação de 2 PS para o manípulo	6	98
	12	Colocação de 2 J1 em cima das PS do manípulo	5	
	13	Colocação de 3 T4 em cima das juntas do manípulo e um T4 em cima da J3	7	
	14	Colocação de 2 J1 para fechar o manípulo	8	
	15	Colocação de 2 J2 em cima de J3	7	
	16	Enroscar manualmente 2 P2 no manípulo	12	
	17	Colocação de 2 PS no P2 da junção J2-J3	14	
	18	Apertar os 2 P2 do manípulo com CS	18	
	19	Enroscar 2 P2 e PS na união horizontal J2-J3 (enroscar ligeiramente)	15	
	20	Encaixar o manípulo na união J2-J3	6	
Posto de trabalho 3	21	Apertar 4 P2 com CS (todas das uniões J2-J3)	30	70
	22	Colocação da Base PVC na mesa (B1 ou B2), retirar 2 juntas metálicas J4 e 2 P1, fazer passar o P1 pelas pelo orifício de J4 e parafusar com a ferramenta CF as duas juntas à base de PVC	35	
	23	Encaixar a estrutura na base de PVC (B1 ou B2)	4	
		Tempo total estimado para a realização de uma montagem completa	289	

## APÊNDICE D



Apêndice D1- Quadro Kanban de produto Final (QK3)