

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Isaías Fernando Muondo Queta

**LEAN LEARNING FACTORY APLICADO NO
PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM NAS
UNIDADES CURRICULARES CONTROLO DE
PRODUÇÃO E MELHORIA CONTÍNUA**

**Dissertação no âmbito do Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial orientada pelo
Professor Doutor Cristóvão Silva e Professor Doutor Paulo Vaz, apresentada no
Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias
da Universidade de Coimbra.**

Julho de 2019



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

FACULDADE
DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA

Lean Learning Factory aplicado no processo de ensino e aprendizagem nas unidades curriculares controlo de produção e melhoria contínua

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

Lean Learning Factory Applied in the Process of Teaching and Learning in Curricular units Production Control and Continuous Improvement

Autor

Isaías Fernando Muondo Queta

Orientadores

Professor Doutor Cristóvão Silva

Professor Doutor Paulo Vaz

Júri

Presidente Professor Doutor José Luís Afonso
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Orientador Professor Doutor Cristóvão Silva
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Professor Doutor Paulo Vaz
Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Viseu

Vogais Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes
Ferreira
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, Julho, 2019

“Be what your mind can conceive and believe, you can achieve.”

-Napolean Hill

Aos melhores pais do mundo,

Fernando e Rebeca.

Agradecimentos

O desenvolvimento e a concretização desta tese teve o apoio de muitos que de alguma forma não posso deixar de agradecer, de fato, sozinho não teria sido possível o cumprimento da tese.

A Deus pela bondade imerecida, saúde e capacidade de resiliência das dificuldades.

Em especial aos meus orientadores e professores; Cristóvão Silva e Paulo Vaz, por darem de si sem reservas e transmitirem os seus conhecimentos e profissionalismo a quando da elaboração da tese. Da mesma forma estendo os meus agradecimentos aos professores do curso de mestrado.

À minha família pelo apoio que me têm dado em todos os sentidos, pois estão sempre presentes em todos meus feitos.

Ao corpo directorado do ISTAM pelo apoio que me têm dado ao longo do processo de formação.

Aos amigos e colegas de turma, bem como aos colegas da universidade.

Resumo

A qualidade e a dinamização do processo de ensino e aprendizagem têm sido os motivos principais pelas quais impulsionam os alunos na escolha de uma instituição de ensino para frequentar um curso de licenciatura, mestrado ou doutorado. A exigência por parte dos alunos na busca de uma instituição que lhes proporciona um ensino auxiliado as práticas laboratoriais resulta da necessidade de equipar o laboratório do departamento com equipamentos práticos para um ensino mais adequado. Esta busca, parte do momento em que os alunos decidem ser mais profissionais após a formação e posteriormente lidar melhor com o mercado de trabalho. Deste modo, à causa da dificuldade no processo de ensino e aprendizagem das unidades curriculares controlo de produção e melhoria contínua tem como resultado o presente trabalho de pesquisa que se justifica através da montagem de uma fábrica de aprendizagem na qual as ferramentas Lean Manufacturing serão aplicadas, com utilidade de promover um ensino mais adequado aos operadores.

O objetivo de estudo deste projeto tem como finalidade apresentar uma linha de produção, fazer a divisão dos postos de trabalhos, equilibrar a linha de produção, simulação das funcionalidades, aplicação do controlo de qualidade de produção na linha de montagem dos produtos associado as metodologias Lean, estabelecer a comparação da montagem na prática em duas fases, sendo montagem e desmontagem, gestão visual com cartões Kanban associado no processo de ensino e aprendizagem.

Sendo assim se espera que, com aplicação deste estudo científico haja melhorias futuras nas aulas das unidades curriculares já mencionadas acima, não só nas aulas bem como no aprendizado dos operadores com didática prática através de uma linha de montagem para ensinar vários conceitos Lean que visam superar e reduzir as dificuldades dos operadores que irão frequentá-las tornando-os mais capacitados, deste modo os operadores não serão apenas ensinados, mas sim, serão ensinados a aprender e praticar juntos das ferramentas Lean.

Palavras-chave: Lean, Learning Factory, Ensino e Aprendizagem.

Abstract

The quality and the dynamics of the process of teaching and learning have been the main reasons why propel students in choosing an educational institution to attend a bachelor, master or doctorate. The demand by the students in finding an institution that provides them with a teaching aided laboratory practices from the need to equip the department with practical lab equipment for a better education. This search, part of the time when students decide to be more professional after training and subsequently better cope with the labor market.

The objective of this project study is to introduce the installation of a production line, making the division of work stations, balance the production line simulation of the functionality, application of production quality control on the assembly line of products by through didactic game associated Lean methodologies, establish a comparison of the assembly in practice in two phases, assembly and disassembly, visual management with kanban cards associated in the process of teaching and learning.

Therefore, it is expected that with application of scientific study there are further improvements in the classes of courses already mentioned above, not only in class and learning of operators with teaching practice through a series of games to teach various types of Lean concepts aimed to overcome and reduce the difficulties of operators who will attend them making them more capable, so operators will not only be taught, but will be taught how to learn and practice together of Lean tools.

Keywords Lean, Learning Factory, Teaching and Learning.

Índice

Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xi
Siglas.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	2
1.2. Objetivo Geral.....	2
1.3. Metodologia	2
1.4. Estrutura da Dissertação.....	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. Desenvolvimento Histórico	5
2.2. Learning Factory	8
2.3. Características das Fábricas de Aprendizagem.....	9
2.4. Ambientes de Aprendizagem Learning Factory	11
2.4.1. Ambiente de Aprendizagem Industrial.....	12
2.4.2. Ambiente de Aprendizagem Acadêmico	13
2.4.3. Ambiente de Aprendizagem Remota	14
2.4.4. Ambiente de Aprendizagem de Pesquisa	14
2.5. Implementação Learning Factory	14
2.6. Lean Learning Factory.....	17
2.7. Integração da Indústria 4.0 no Learning Factory	20
2.7.1. Ambiente de Aprendizagem na Indústria 4.0	22
2.7.2. Ambiente de Aprendizagem Realidade Mista	23
2.7.3. Learning Factory com RFID na Linha de Montagem	24
2.7.4. Caso de Estudo Learning Factory LEAD	26
2.7.5. Benefícios da Implementação	27
2.7.1. Limitações e Desafios	29
2.8. Aprendizagem Baseada em Jogos.....	31
2.8.1. Simulação de jogos no Learning Factory	33
2.8.2. Jogos Lean Learning.....	35
2.9. Relação das Unidades Curriculares com Objetivo do Trabalho	36
3. INDUSTRIALIZAÇÃO LEARNING FACTORY	37
3.1. Caracterização Learning Factory do LAB-EGI	37
3.2. Missão da Fábrica de Aprendizagem do LAB-EGI.....	39
3.3. Análise Comparativa da Fábrica de Aprendizagem LAB-EGI.....	40
3.4. Fluxo do Processo de Produção	43
3.4.1. <i>Workflow</i> do Processo de Produção.....	44
3.4.2. Descrição do Produto.....	46
3.4.1. Estrutura do Produto	47
3.4.1. Seleção da Melhor Sequência de Montagem.....	49
3.5. Tempos de Montagem.....	50

3.6. Industrialização do Processo Proposta de Melhoria	52
3.6.1. Desenvolvimento do Gabarito	53
3.6.2. Seleção da Sequência de Montagem com uso do Gabarito	55
3.7. Procedimentos da Montagem	57
3.8. Equilibragem da Linha de Montagem	59
3.8.1. Layout da Linha de Montagem	60
3.8.1. Heurística na Linha de Montagem	61
3.8.2. Linha de Montage em Série	62
3.8.3. Linha de Montagem Paralela.....	65
3.9. Tempos de Montagem com uso do Gabarito.....	68
3.10. Simulação do Processo Produtivo – <i>Job Instruction</i>	69
4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXO A.....	80
APÊNDICE A	89
APÊNDICE B	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Histórico da fábrica de aprendizagem, (Tisch & Metternich, 2017).	7
Figura 2.2 Projetos realizados pelos operadores da Penn State University (Gordon & Dy, 2015).	8
Figura 2.3 Caracterização das fábricas de aprendizagem IALF (2019)	11
Figura 2.4 Ambientes de aprendizagem e suas características, (Abele et al, 2015).	13
Figura 2.5 Modelo de implementação LF (Durão et, al., 2019).	16
Figura 2.6 Integração da Implementação de Fábrica de Aprendizado (Jorgensen et, al, 1995).	17
Figura 2.7 Pensamento Lean Rodrigues (2015)	18
Figura 2.8 Tecnologias aplicada na Indústria 4.0 (Bortolini et, al., 2017)	22
Figura 2.9 Equipamentos da fábrica de aprendizagem para indústria 4.0 (Elbestawi et al, 2018).	23
Figura 2.10 Aplicações da realidade mista LF (Juraschek et al., 2018)	24
Figura 2.11 Funcionamento básico do sistema RFID (Louw & Walker, 2018)	26
Figura 2.12 RFID na linha de montagem (Gotthardt et, al., 2019).	27
Figura 2.13 Processos de aprendizagem baseado em jogo, adaptado (Abele et al., 2015).	32
Figura 2.14 Framework do jogo, adaptado (Thiede et, al., 2017).	34
Figura 3.1 Aplicação LF do LAB-EGI, baseado no modelo criado Veza (2017).	40
Figura 3.2 <i>Workflow</i> do processo	45
Figura 3.3 “Talocha” (baseado no produto real).	46
Figura 3.4 Estrutura do produto	47
Figura 3.5 Explosão das peças do Produto	49
Figura 3.6 Diagrama de dependência sem uso de Gabarito	50
Figura 3.7 <i>Cycle time</i>	51
Figura 3.8 Desenho do Gabarito	53
Figura 3.9 Teste da Projeção do gabarito anexado ao produto	54
Figura 3.10 Testes após a impressão	54
Figura 3.11 Tempo da impressão	55
Figura 3.12 Diagrama de dependência do produto	56
Figura 3.13 <i>Layout</i> da linha de montagem	60

Figura 3.14 Distribuição das cargas nos postos de trabalho	62
Figura 3.15 Modelo simplificado da simulação da linha de produção	63
Figura 3.16 Processo decisor do operador	63
Figura 3.17 Linha de montagem com postos de trabalho paralelos.	66
Figura 3.18 Melhoria do <i>cycle time</i> com uso do gabarito.	69
Figura 3.19 Proposta para processo o de aprendizagem	70
Figura 3.20 Gráfico do treinamento de dois operadores.	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Regras dos cartões Kanban adaptado (Lonnie, 2010).....	20
Tabela 2.2 Melhoria da produtividade global. Adaptado de Bauernhansel (2016)	28
Tabela 2.3 Vantagens das Learning factory (Rybski & Jochem, 2016); Jorgensen (1995). 29	
Tabela 2.4 Adaptado (Carmona, 2015); (Moutinho, 2012) e (de Smale 2015). Jogos Lean.	35
Tabela 3.1 Características LF LAB-EGI adaptado (Hertle et al., 2013)	38
Tabela 3.2 Análise das características entre as fábricas.	41
Tabela 3.3 Níveis do produto	48
Tabela 3.4 Relação das Peças	48
Tabela 3.5 Fluxo do processo sem gabarito	50
Tabela 3.6 Fluxo de montagem com gabarito.	56
Tabela 3.7 Balanceamento da linha	61

SIGLAS

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

EGI – Engenharia e Gestão Industrial

TIC – Tecnologias da Informação e Comunicação

JIT – *Just-in-time*

SMED – *Single Minute Exchange of die*

TPS – *Toyota Production System*

IoT – *Internet of Things*

I4.0 – 4ª revolução industrial ou indústria 4.0

RTLS – Sistema de Localização em Tempo Real

RFID – Identificação por Radiofrequência

UWB – *Ultra Wide Band*

HWM – Mapa de Oficina Holográfica

CIM – *Computer integrated manufacturing*

AGV – *Automated Guided Vehicles*

LF – Learning Factory

1. INTRODUÇÃO

As dificuldades no processo de ensino/aprendizagem tem se tornado preocupante porque em muitos casos os resultados esperados não são os melhores. O desenvolvimento e a aplicação de técnicas pedagógicas práticas para a transmissão de conhecimento tem sido o meio encontrado para dar respostas satisfatórias aos docentes e aos alunos, porque a transmissão do conhecimento não deve ser apenas abstrato ou impalpável, mas sim associado a execução de um conjunto de atividades que facilitam o processo de aprendizagem.

Visto que a metodologia Lean e as suas ferramentas fazem parte das unidades curriculares melhoria contínua e sistema de produção, tais matérias, são lecionadas semestralmente no departamento, no curso de mestrado em engenharia e gestão industrial. Estes assuntos são abordados nas aulas com objetivo de capacitar os operadores com conhecimentos de gestão da produção, sistemas produtivos e suas metodologias, porém surge a necessidade de incrementar os métodos pedagógicos para que os objetivos sejam alcançados na sua plenitude, pois que, não basta apenas o professor ter conhecimento. De facto, não importa quanto seja o nível de seu conhecimento se este não for transmitido de forma mais adequada, isto é, com métodos práticos sustentado pela pedagogia as dificuldades dos operadores não serão ultrapassadas.

Pode se dizer que Lean Manufacturing é uma filosofia proveniente do sistema de produção Toyota que se aplica para reduzir vários desperdícios no processo produtivo, fica claro que a sua aplicação tem o papel de melhorar a qualidade do produto bem como os custos associados à produção. É possível constatar que as ferramentas Lean, pela capacidade de eliminação de defeitos e controlo de qualidade do produto têm dado grande contributo para que as empresas possam se manter num mercado cada vez mais competitivo. Tudo em volta das ferramentas Lean resultam na estratégia de negócio, consistência e fidelização do cliente por exercer a função de satisfazer as necessidades dos consumidores, (Tavares, 2017).

A utilização da metodologia Lean está na base da realização da presente dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial que é realizado em função da montagem de equipamentos laboratoriais no departamento da mesma universidade. Esta

relação é viável porque a metodologia Lean e as suas ferramentas estão presentes no processo de produção que será parte do estudo da tese em questão.

Entre os fatores relacionados com o problema apresentado, as causas ou consequências, vantagens e possíveis soluções para a situação problemática serão apresentados e desenvolvidos detalhadamente ao longo do desenrolar do projeto.

1.1. JUSTIFICATIVA

Em consequência das dificuldades no processo de ensino e aprendizagem das unidades curriculares controlo de produção e melhoria contínua, surge a justificativa desta pesquisa através da industrialização de um produto na fábrica de aprendizagem do DEM-EGI, sendo assim as dificuldades no processo de ensino poderão ser minimizadas através do presente estudo e com a possibilidade de aplicar as metodologias Lean em todo processo produtivo.

1.2. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a industrialização de um produto associado às metodologias Lean no processo de fabricação simulada com a finalidade de promover aprendizagem ativa, dinamizando o processo de ensino e aprendizagem.

1.3. METODOLOGIA

Para resolver o problema proposto e cumprir com os objetivos, observou-se que a pesquisa em estudo é classificada como pesquisa aplicada, descritiva, explicativa e prática. Verificou-se também a pesquisa envolveu materiais já estudados por autores bem versados na área disponíveis em livros, artigos científicos, revistas, documentos eletrônicos a fim de aplicar conhecimentos sobre as metodologias Lean Manufacturing no processo de ensino e aprendizagem para promover ensino e aprendizagem nas cadeiras controlo de produção e melhoria contínua.

A presente pesquisa assume como estudo de caso, sendo explicativo e prático, por sua vez, identificar os fatores que causam os problemas no processo de ensino e aprendizagem, aprofundando o conhecimento da realidade explicando as ocorrências.

Explicar os fatos de forma científica. Estudar um cenário do problema através da montagem de um produto com equipamentos disponíveis na fábrica de aprendizagem.

Como procedimentos, é citada a necessidade de pesquisa bibliográfica, isso porque será feito o uso de materiais já publicados que estão associados ao problema de pesquisa, constituído principalmente de artigos. Tem-se como base para o resultado da pesquisa alguns casos de estudos que poderão ser abordados ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

A abordagem da escolha da sequência de montagem foi realizada no laboratório através de dois grupos, *professional academy* e *Lean academy*, com estes grupos formaram-se cerca de oito subgrupos, cada grupo formado por três a cinco operadores.

O problema foi direcionando para as áreas de processo e aprendizagem das unidades curriculares supracitadas e nalguns estudos de caso, sendo este com a aplicação da metodologia Lean Manufacturing no processo de ensino e aprendizagem uma análise geral para promover ensino e aprendizagem.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da presente dissertação está sustentada por quatro capítulos dos quais são descritos; Primeiro capítulo, baseia-se na apresentação do projeto, introdução e proporciona o leitor a ter as primeiras impressões do que será abordado no desenvolvimento do projeto. No segundo capítulo, é apresentado o enquadramento teórico sobre o tema, conceitos e tendências. Terceiro capítulo é dedicado para o desenvolvimento do processo de industrialização que é desenvolvido na fábrica de aprendizagem do departamento transmitindo assim de forma mais adequada os princípios Lean Manufacturing. O processo da simulação vai contar com vários pressupostos envolvidos no processo produtivo. Quarto é o capítulo conclusivo, onde é apresentado as considerações finais de tudo quanto foi relevante no desenvolvimento e solução do problema e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O presente capítulo é dedicado ao enquadramento teórico, onde será apresentado o que realmente a literatura mostra sobre o tema, resumo do estudo, comparação dos estudos semelhantes e divergência entre os mesmos, análise, listagem dos pontos fortes e fracos, tendências, conceitos, a variedade de jogos desenvolvidos, características e suas aplicações no contexto da aprendizagem Lean. O estudo deste tema é recente e inovador, apesar disso, não é um caso isolado uma vez que a literatura apresenta diversos estudos que abordam assuntos na mesma linha de pensamento, neste quesito será apresentado o que já foi feito a respeito das fábricas de aprendizagem e como as ferramentas Lean e jogos têm sido utilizados nas modernas fábricas de aprendizagem.

A revisão da literatura baseou-se de forma geral no método narrativo da literatura, com objetivo de alcançar resultados a respeito dos métodos da aprendizagem Lean Learning Factory.

As pesquisas foram realizadas em livros, artigos científicos e conferências, que foram obtidos a partir das seguintes plataformas: B-on (biblioteca do conhecimento online), Google acadêmico, *Springer nature* e *CIRP-science direct*, utilizou-se o critério de inclusão e exclusão com filtros de pesquisa nos seguintes idiomas: Português, Inglês e Alemão.

2.1. Desenvolvimento Histórico

Há trinta e três anos para cá que os métodos de ensino voltado aos operadores têm sido considerados, a narrativa é datada entre os anos 80, 90 até aos dias atuais. O relato teve início em 1986, na Alemanha, no instituto Fraunhofer, o projeto esteve sob a responsabilidade do professor Dr. H. J. Bullinger, no entanto, o projeto se baseava no treinamento dos operadores para operação da máquina CNC, *design* com CAD e o uso do computador no treinamento administrativo. O projeto teve sucesso e desta forma foi planejado o desenvolvimento do mesmo a longo prazo, (Rauner, 1995). Anos depois, na cidade de Villingen foi desenvolvido o projeto Learning Factory orientado por *computer integrated manufacturing* (CIM). Este projeto consistiu num treinamento que envolveu cerca de 260 operadores por dia subdivididos nas seguintes áreas: tecnologia de metal,

processamento de madeira, engenharia de processamento de plásticos, administração industrial, automação de produção e o fornecimento de treinamento em Tecnologias tais como CNC, CAD, CAM DNC, captura de dados de material, (Rauner, 1995).

Na época, os EUA demonstraram interesse e em 1994 foi instalada a primeira fábrica de aprendizagem, sob a responsabilidade do professor Bernard M. Gordon, da Penn State University. Outros países da Europa demonstraram interesse, e num lugar após outro houve várias instalações que se diferenciavam em tamanho, ambiente e equipamentos. (Tisch & Metternich, 2017). O breve desenvolvimento histórico foi dividido em três fases para que o relato seja detalhado com mais pormenores.

- Fase 1: A fábrica de aprendizagem Bernard M. Gordon, da Penn State University, foi instalada em 1994, tornando assim é o exemplo mais proeminente da utilização Learning Factory, a partir daquela ocasião, o termo "fábrica de aprendizagem" tornou-se conhecido. E conseqüentemente o conceito foi desenvolvido em projetos de *design* de engenharia com parceria industrial na vertente do ensino e aprendizagem. Desde 1995, vários projetos foram patrocinados por parceiros da indústria. Essa implementação inicial de uma fábrica de aprendizagem acentua a experiência na prática através da aplicação do conhecimento aprendido no curso de engenharia, deste modo, problemas reais da indústria podem ser resolvidos e os produtos podem ser projetados para atender as necessidades atuais, (Tisch, Metternich, 2015).

- Fase 2: A implementação Learning Factory na Europa, foi feita em grande variedade com objetivo de melhorar as experiências de aprendizagem de forma ampla, (Krückhans et al., 2015). Dentro do Processo de instalação Learning Factory na Europa foram incluídos montagem manual e semiautomática, funções de logística, controlo de qualidade, Lean manufacturing e a Industria 4.0, assegurando uma transferência de conhecimento sustentável auxiliado a prática. Estes avanços ocorreram nos últimos 10 anos, (Tisch, Metternich, 2015).

- Fase 3: teve início em 2011, com a “1ª Conferência sobre Fábricas de Aprendizagem” que teve lugar em Darmstadt, nesta ocasião, um grupo de operadores de fábricas de aprendizagem académica europeia fundou a Iniciativa sobre Fábricas Europeias de Aprendizagem (IELF) com o objetivo de iniciar projetos de investigação, (Abele et al.,

2015). Como resultado dessas atividades, foi estabelecida uma colaboração conjunta em toda Europa. A colaboração resultou no crescimento em popularidade e internacionalidade, incluindo a participação de 18 países, desde 2015, (Tisch, Metternich, 2015). O potencial das fábricas de e aprendizagem contribuíram bastante para o desenvolvimento das indústrias e instituições nos últimos 33 anos assim como mostra o gráfico da Figura 2.1.

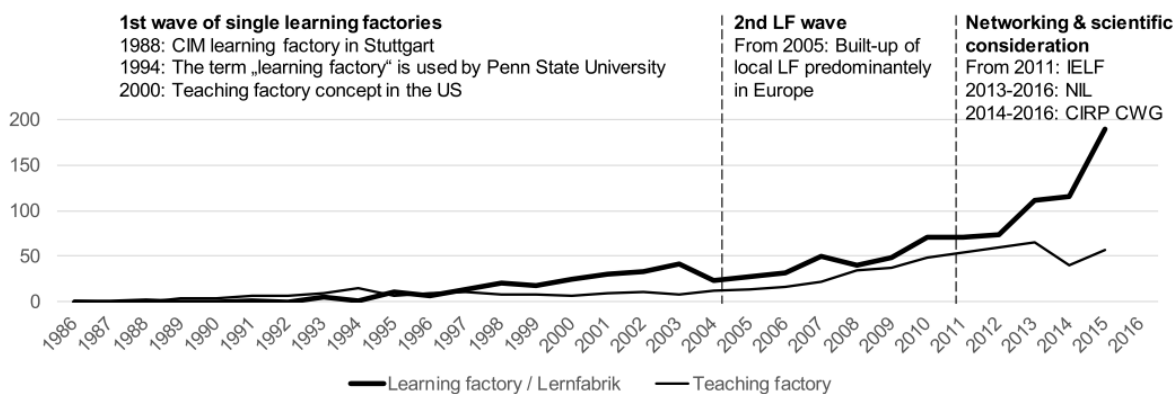


Figura 2.1 Histórico da fábrica de aprendizagem, (Tisch & Metternich, 2017).

No que toca ao seu impacto histórico, os números falam por si, visto que desde a sua criação, a Fábrica de Aprendizagem da Penn State University já concluiu mais de 1.833 projetos patrocinados por mais de 500 patrocinadores diferentes. Cerca de 9.000 estudantes de engenharia da Penn State University Park já participaram dos projetos. Por exemplo no segundo semestre de 2015, a Fábrica de Aprendizagem concluiu 197 projetos conforme a Figura 2.2. Por meio desses projetos, a Learning Factory proporcionou aos operadores experiências práticas. Muitos estudantes nunca viram o interior de uma fábrica ou laboratório de engenharia. Os operadores aumentaram as habilidades de liderança e gerenciamento de projetos trabalhando diretamente com seus clientes, (Gordon & Dy, 2015).

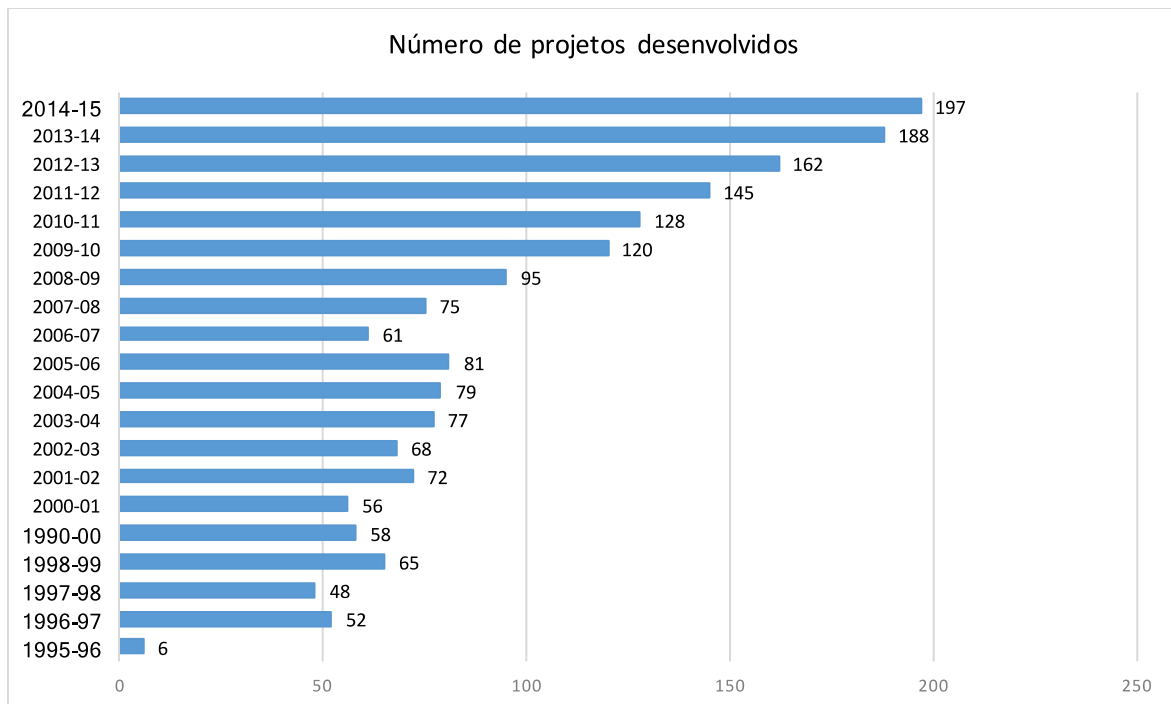


Figura 2.2 Projetos realizados pelos operadores da Penn State University (Gordon & Dy, 2015).

2.2. Learning Factory

A abordagem Learning Factory tem se expandido e recebido muita atenção por parte dos investigadores, universidades, indústria e nos últimos anos a tendência para implementação tem ganhado espaço em função dos resultados positivos. Mas esta abordagem fará mais sentido com as respostas das seguintes perguntas: O que é exatamente Learning Factory e como pode ser diferenciado de abordagens semelhantes no contexto educacional? A seguir é apresentada uma visão geral do assunto, (Abele et al., 2015).

O termo Learning Factory é baseado nas palavras “aprendizagem” e “fábrica”, ou seja, fábrica de aprendizagem, o autor Giffi (2016), concluiu que o termo é usado para sistemas que abordam ambas as partes do termo. (ElMaraghy et al., 2015) As fábricas de aprendizagem são, portanto, ambientes simulados de fábrica, que são usados para fins educacionais, treinamento e pesquisas.

Não é de todo tão fácil definir fábrica de aprendizagem, pois que desde o seu surgimento, várias abordagens surgiram paralelamente, porém, é de realçar que todas elas se relacionam com aspetos educacionais, nos últimos anos a discussão científica entre os autores a respeito do assunto resultou na seguinte definição:

Learning Factory é um ambiente de aprendizagem onde processos e tecnologias são baseados em uma linha de montagem que possibilita a criação de produtos. As fábricas de aprendizado são baseadas em um conceito didático que enfatizam a aprendizagem experimental e baseada em problemas reais. A filosofia de melhoria contínua é facilitada e envolvida de forma implícita e interativa pelos participantes, (IALF, n.d.).

Sendo que os autores pioneiros definiram como a projeção de uma instalação laboratorial para fins educacional, portanto, é totalmente diferente de um laboratório comum. Trata-se de laboratórios altamente aplicados a cursos específicos, nomeadamente engenharia mecânica, industrial, eletrônica ou ainda laboratórios de controle. Esses laboratórios são projetados e definidos com objetivos específicos, (Jorgensen et, al., 1995).

Sob outra perspectiva é considerado uma fábrica de aprendizagem quando o ambiente de aprendizagem inclui múltiplas estações e é compreendido por aspetos técnicos, um cenário que é mutável com capacidade de produção de um produto físico envolvendo conceitos didático que compreendem a aprendizagem possibilitada pelas ações de treinamento de aprendizagem presencial, (Metternich & Tisch, 2018).

2.3. Características das Fábricas de Aprendizagem

As afirmações de Tisch (2015), deixa claro que apesar da existência de semelhanças frequentes no que toca a abordagem e o conceito de fábricas de aprendizagem, não obstante, há diferenças visíveis com relação a orientação e o *design* de instalações que variam de acordo a necessidade da instalação. O autor afirma também que até os dias de hoje, não existe uma estrutura padronizada para descrever as abordagens Learning Factory. No entanto foi desenvolvido um ponto de partida que serve como um modelo de referência que pode ser usado para estruturar e classificar os ambientes de aprendizagem, bem como um suporte para o desenvolvimento e aprimoramento das abordagens da Fábrica de Aprendizagem.

O ponto de partida referido no parágrafo acima foi descrito por Metternich (2018), que organizou e dimensionou cerca de 59 características das fábricas de aprendizagem subdivididas em seis dimensões, das quais são citadas: Modelos operacional, metas e propósitos, processo, configurações, produtos, didática e métricas de aprendizagem. Para uma instalação bem-sucedida é imprescindível cumprir os sete requisitos mencionados,

pois servem de orientação para o desenvolvimento de uma nova fábrica de aprendizagem, bem como para delinear fábricas existentes.

A seguir são descritos em detalhes algumas das sete dimensões que são de interesse para o estudo presente:

- **Modelo operacional:** Este modelo é referente aos órgãos que operam para garantir a sustentabilidade e melhoria contínua no desenvolvimento da aprendizagem e competências dos operadores. Hoje em dia as fábricas de aprendizagem são operadas majoritariamente por instituições acadêmicas, empresas de consultoria, grandes indústrias automóveis, universidades. Este modelo é sustentado pelos recursos financeiros, recursos humanos qualificados para operar e melhorar as fábricas de aprendizagem no desenvolvimento de competências da organização ou instituição, (Tisch et al., 2015).

- **Propósito e metas:** refere-se à orientação estratégica da fábrica de aprendizagem; propósitos, público-alvo, grupos, indústrias direcionadas, ensino, treinamento e pesquisas em desenvolvimento.

- **Fases de Processamento:** envolve funções, fluxo de material, tipo de processo, métodos e tecnologias de fabricação a ser utilizado para o processo de aprendizagem, etc.

- **Configuração do ambiente de aprendizagem:** é descrito pelas suas características tanto físico como virtual, os níveis do sistema de trabalho, integração das novas tecnologias e mudança de configuração.

- **Produto:** é um instrumento funcional em todas as fábricas de aprendizagem, é o meio de transferência de conhecimento através de suas características nomeadamente número de produtos diferentes, tipo e forma do produto, origem do produto, utilidade do produto. O produto define a estrutura do ambiente de aprendizagem. Também é um impulsionador de custos operacionais e está relacionado com a administração da Fábrica de Aprendizado. (Abele et al., 2015).

Os autores Enke (2017) e Abele (2015), referem que a didática consiste no principal objetivos de aprendizagem, portanto, envolve o tipo de ambiente de aprendizagem, papel do formador, formato de avaliação, instrumentos de avaliação, comunicação dando resposta a seguinte perguntas: O que aprender? Onde aprender? Como aprender? Como avaliar?

Todos os modelos apresentados estão distribuídos em três classes de ambientes de aprendizagem, nomeadamente físico, virtual e híbrido, no ambiente de aprendizagem físico, os operadores podem experimentar e explorar por meio de robôs, área de montagem física e logística. Quanto ao ambiente de aprendizagem virtual é compreendido por fábrica virtual de robôs, área de montagem virtual, máquinas virtual, simulação e outros meios, (Abele et al., 2015). O ambiente de aprendizagem híbrido é recente e foi desenvolvido pela Festo, especializada em instalação de sistemas de aprendizagem híbrido com ferramentas avançada e poderosas, além das ferramentas já mencionadas este ambiente envolve automação híbrida, tecnologia de controlo de temperatura, válvulas, nível de pressão, vazão, controlo de bombas e ferramentas da indústria 4.0, (Festo, 2019). A Figura 2.3 faz um resumo das características e apresenta as seis dimensões simplificadas.

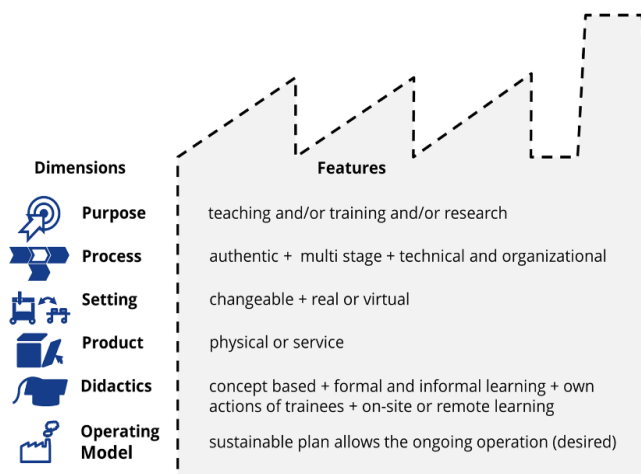


Figura 2.3 Caracterização das fábricas de aprendizagem IALF (2019)

2.4. Ambientes de Aprendizagem Learning Factory

O termo Learning Factory abrange uma grande variedade de ambientes de aprendizagem. É comum que as fábricas de aprendizagem sejam diferenciadas em vários aspetos, desde o público-alvo, fábrica, indústria, curso e a instituição de ensino. O objetivo é dar uma visão ampla do conceito de fábrica de aprendizagem, neste contexto serão apresentados diferentes ambientes de aprendizagem que estão diretamente relacionados com o tema em estudo.

Cenários Learning Factory servem como um ambiente ideal para a demonstração, simulação e treinamento de produção. Das quais inclui soluções de automação, tecnológica, comunicação em um ambiente de produção, sistemas de montagem

e logística, estações de trabalho linhas de montagem, prateleiras dos supermercados, transportadores, robô associados no processos de montagem, e muitos outros equipamentos de suporte, (Abele et al., 2015). É de realçar que todos os cenários de aprendizagem envolvem conceitos e metodologias Lean que são usados de acordo com a aplicação do cenário, por exemplo no cenário acadêmico, na melhoria do processo de produção o operador irá desenvolver métodos e princípios Lean, como balanceamento de linha, melhoria contínua, resolução de problemas, análise e projeto de fluxo de valor, *just-in-time* ou otimização de tarefas, (Muschard & Seliger, 2015).

2.4.1. Ambiente de Aprendizagem Industrial

Muitas empresas foram capazes de melhorar e aumentar a produtividade bem como o seu valor para os clientes e funcionários através das condições existentes nas fábricas de aprendizagem com ambientes adequados que permitem às empresas e aos operadores obterem competências que se refletem na produtividade. Estas entidades alcançaram o sucesso porque têm conseguido desenvolver os seus operadores em todos os níveis hierárquicos, a fim de facilitar a aplicação de habilidades e competências por meio do cenário industrial.

O processo de aprendizagem baseado em um ambiente de treinamento de produção realista em que todas as áreas de produção industrial são abordadas. Desta forma, é assegurado que as diferentes necessidades dos formandos industriais são cumpridas. Neste processo os participantes industriais são capazes de identificar soluções, métodos e aplicá-los em um ambiente de produção real, sem risco de falha ou pressão de custos envolvidos. Devido às condições reais de produção é facilitada a transferência de habilidades de resolução de problemas do treinamento para a própria empresa. (Abele et al., 2015). É possível observar vários ambientes que serão considerados na Figura 2.4. Este ambiente de aprendizagem também é apropriado para transmissão de conceitos de produção em série, (ElMaraghy et al., 2015).

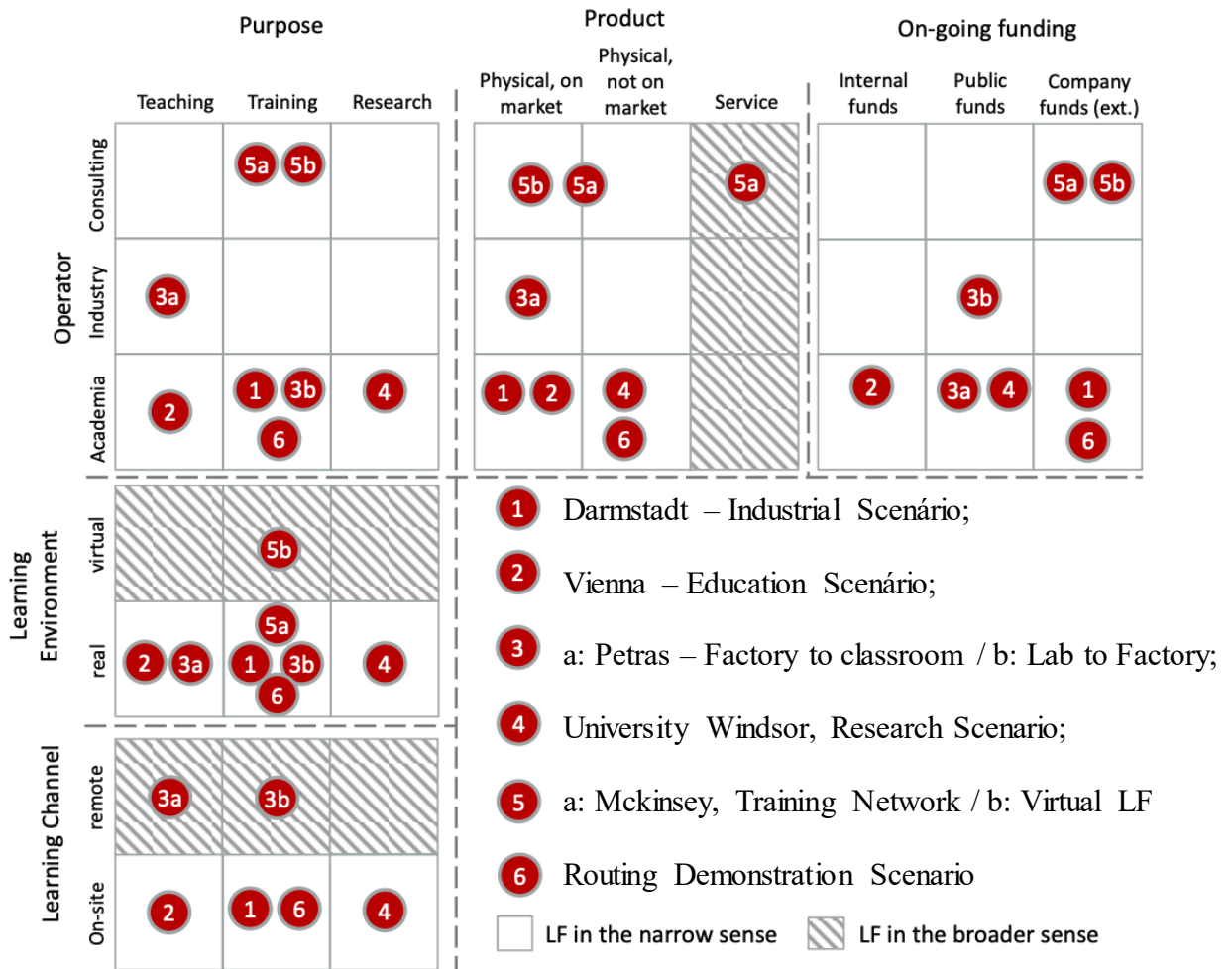


Figura 2.4 Ambientes de aprendizagem e suas características, (Abele et al., 2015).

2.4.2. Ambiente de Aprendizagem Acadêmico

O presente ambiente é baseado em treinamentos de participação ativa dos operadores que consiste em um exercício para analisar, planejar, construir e otimizar um produto real. Diferentes abordagens didáticas são usadas, especialmente aprendizagem combinada, autoaprendizagem, ensino frontal e treinamento prático, isso também inclui medidas de planejamento de produto e *design*, engenharia, fabricação, montagem, bem como controlo de qualidade, (Abele et al., 2015). Estes cenários são usados principalmente para o ensino superior para fácil adaptação dos desafios com cenário de produção relacionado com a indústria 4.0, novas interfaces e outras ferramentas, (Abele et al., 2015).

As fábricas de Aprendizagem para engenharia industrial têm sido predominantes e relevantes para a educação, com objetivo de preparar os operadores a enfrentarem problemas da engenharia industrial, processos e a criação de produtos.

Um exemplo deste ambiente é o Laboratório de Engenharia Industrial do TUDortmund ao orientado para o ensino dos cursos do Instituto de Sistemas de Produção. Aí os operadores são capacitados para planejar uma linha de montagem completa, incluindo projetos ergonômicos no local de trabalho análises de *tack time*, *lead time* e *cicle time* do processo de montagem, (Seitz & Nyhuis, 2015).

2.4.3. Ambiente de Aprendizagem Remota

Refere-se a um espaço de aprendizagem separado geograficamente, onde as TIC's desenvolvidas e equipamentos industriais de alta qualidade são os facilitadores do processo. A comunicação e interação das equipes localizados remotamente trabalham com problemas da vida real envoventes nos locais industriais e acadêmicos. Nessa base, funcio na como um canal de comunicação conhecimento bidirecional trazer a fábrica real para a sala de aula e o laboratório acadêmico para a fábrica que emergiu como um paradigma promissor para a integração do ambiente da fábrica com a sala de aula, (Abele et al., 2015).

2.4.4. Ambiente de Aprendizagem de Pesquisa

Este ambiente é baseado em uma plataforma de produção transformável que inclui módulos que podem ser facilmente reconfigurados para mudar o *layout* do sistema e a sua funcionalidade. É constituído por módulos avançadas de montagem e de inspeção. A fábrica de aprendizagem centra-se na aprendizagem de sistemas onde os produtos são customizados, personalizados e reconfigurados, (Abele et al., 2015).

2.5. Implementação Learning Factory

A revisão da literatura considera que as fábricas de aprendizagem são extremamente próximas da realidade que as indústrias apresentam, ou seja, é um ambiente de produção real de uma fábrica. Abele (2015), escreveu que existem alguns elementos principais para a implementação de uma fábrica de aprendizagem, nomeadamente inovação tecnológica, público-alvo, produto e as necessidades do ambiente. Um outro autor bem versado na literatura é o Tisch (2015), que faz uma boa descrição das características das fábricas de aprendizagem e realça o realismo das configurações em função das atividades

práticas dos operadores. Ambos autores dirigem os seus objetivos na aquisição de competências por meio de diferentes formas de ensino e aprendizagem, portanto para se atingir estes objetivos, é imprescindível que no processo de implementação considera-se alguns pressupostos, tais como, limitações, tamanho físico, arrumação das máquinas, números de estações de trabalho, fatores de incerteza, tecnologia, recursos e o mercado, (Durão et, al., 2019).

Com base nos pressupostos apresentados pelo autor Durão (2019), é viável sublinhas três pressupostos principais e propor um modelo de implementação de uma fábrica de aprendizagem descrito na Figura 2.5, onde as características da mesma são implícitas. No modelo descrito cada pressuposto é superado pelo outro que se segue sendo que, a tecnologia é resolvida através de uma análise comparativa das tecnologias existentes em diferentes fábricas de aprendizagem. Recursos é ajustado através da análise do orçamento envolvido no projeto bem como os recursos fornecidos. Mercado é ajustado pela definição do público-alvo e o mercado-alvo.

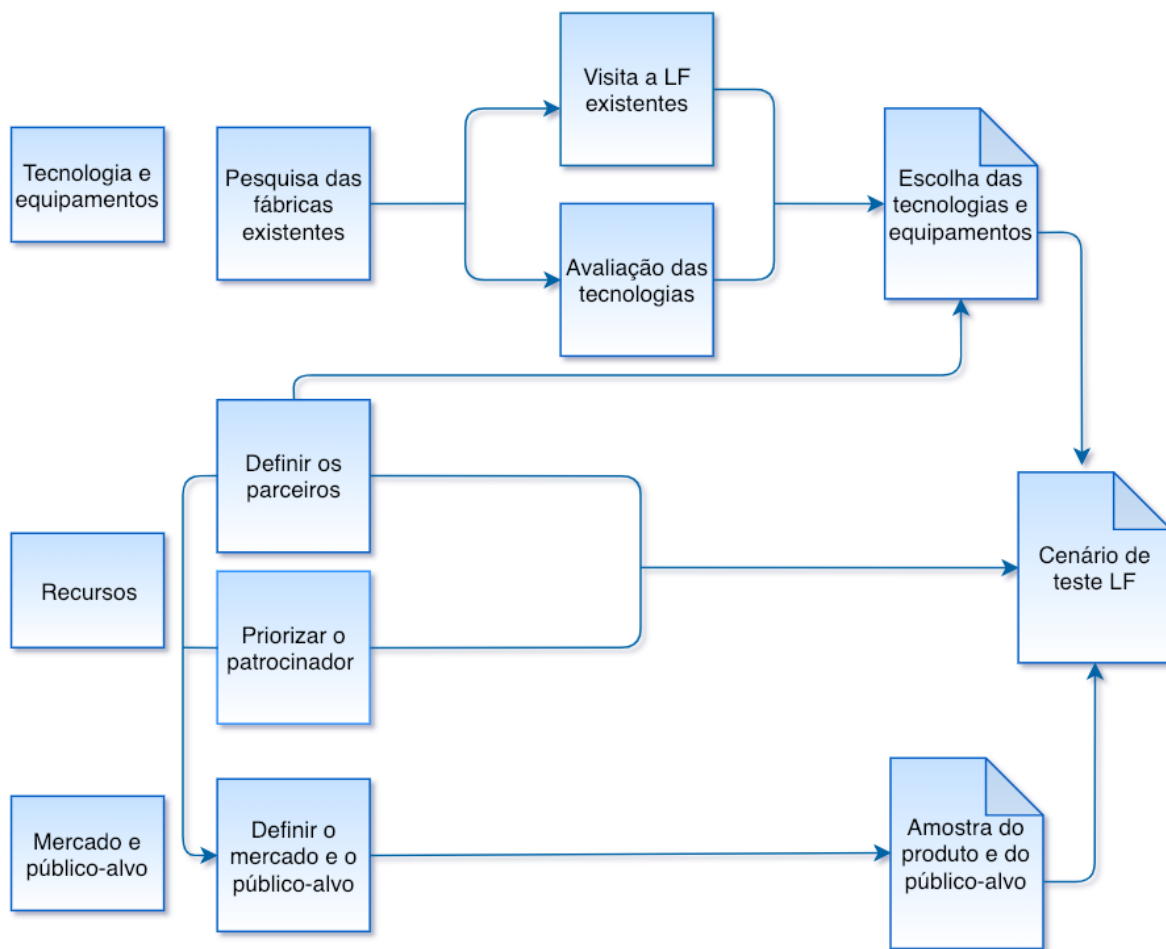


Figura 2.5 Modelo de implementação LF (Durão et, al., 2019).

No processo de implementação Learning Factory tem-se como princípio básico a integração de experiências, projetos do plano curricular de um curso, integração de equipamentos e materiais em sistemas de produção, integração de pessoas de várias disciplinas de engenharia e negócios em equipas eficazes que projetam e produzem produtos e processos. O conceito básico de implementação é mostrado na Figura 2.6. Neste contexto a Learning Factory é definida em função das principais atividades necessárias. Encontram-se as instalações laboratoriais, disciplinares, habilitadas e existentes, (Jorgensen et, al., 1995). A mesma figura ilustra, de maneira genérica, a integração de laboratórios existentes (laboratórios de processos de fabricação, design, automação, etc.). Os aspetos adicionais da que fazem parte do learning factory são capazes de prover uma infraestrutura industrial (Jorgensen et, al., 1995).



Figura 2.6 Integração da Implementação de Fábrica de Aprendizagem (Jorgensen et, al., 1995).

2.6. Lean Learning Factory

Quando se aborda a respeito das fábricas de aprendizagem, de forma implícita as metodologias Lean estão associadas e com base nisso os operadores são capacitados para desenvolver habilidades de resolução de problemas, pensar em sistemas e projetos relacionados a engenharia, consequentemente o ensino das ferramentas Lean aumentam a compreensão bem como as práticas profissionais dos operadores, (Hall, 2011). Tendo como principal objetivo ensinar os princípios Lean sustentado por uma fábrica de aprendizagem, uma vez que tais fábricas fornecem um ambiente de produção de acordo com a realidade, (Bauer et, al., 2018).

A aprendizagem Lean Factory acentua-se nos princípios Lean, embora que a literatura apresenta centenas de abordagens a respeito dos princípios Lean extraídos do Sistema Toyota de Produção, Hibbs (2009) identifica os cinco princípios: valor, cadeia de valor, fluxo, pull e perfeição. A seguir é explicado no que consiste cada abordagem dos princípios Lean.

- **Valor** - Depende do cliente, sendo que este princípio procura saber o que o cliente valoriza, (Hibbs et, al., 2009). Isto significa que o fluxo de valor deve ser mapeado levando em consideração tanto a o cliente bem como o operador, (Bauer et, al., 2018). Rodrigues (2015), afirma que o valor é o ponto de orientação de todos os princípios do pensamento Lean como ilustra a Figura 2.7.



Figura 2.7 Pensamento Lean Rodrigues (2015)

- **Fluxo de valor** - É a sequência do valor, porque após saber o que o cliente valoriza segue-se então a criação do fluxo do valor, (Hibbs et, al., 2009). Este mapa inclui todas as etapas para a criação do produto, desde o pedido até a entrega (Bauer et, al., 2018).

- **Fluxo** - Serve para manter a consistência do cliente e fidelidade face ao produto, visto que este princípio orienta o cliente, reduz o tempo de resposta e entrega do produto, (Bauer et, al., 2018). O objetivo do fluxo está associado em planejar o *layout* da produção em todas as etapas do processo, para assim eliminar as barreiras do processo. Deve ser representado graficamente, de forma que todas etapas do processo estejam claras incluído atividades, materiais e operadores. O fluxo mapeado permite observar de forma simples os desperdícios Rodrigues (2015).

- **Pull** - Este princípio permite entregar serviços sob demanda garantido que a produção seja feita com necessidade e elimina o *stock* desnecessário, (Bauer et, al., 2018).

- **Perfeição** - Este princípio melhora o processo de produção continuamente, e para tal são aplicados algumas metodologias Lean (Hibbs et, al., 2009). Por exemplo *Kaizen*, é uma das principais metodologias Lean sendo um requisito para melhoria contínua padronizadas passo a passo, (Bauer et, al., 2018). Na verdade, são melhorias pequenas que parecem insignificantes, portanto as melhorias podem ser lentas e aplicadas as práticas já existentes e podem ser empregadas diariamente, Rodrigues (2015).

Um outro exemplo é o *Kanban*, um sistema de sinalização para sinalizar a necessidade de qualquer coisa num determinado posto de trabalho por meio de cartões,

(Hibbs et, al., 2009). O *Kanban* é baseado no princípio *just-in-time* da Toyota. Permite visualizar o fluxo de trabalho e elimina sobrecarga através do manuseio de cartões *kanban* afixados num painel, portanto o movimento de um cartão representa uma ação a ser tomada em função do código de cores e capacidades pré-estabelecidos para identificar a capacidade de um posto de trabalho.

À luz do *Kanban*, sempre que houver uma próxima atividade, tal atividade é processada apenas quando o WIP tem capacidade de trabalho, ou esteja disponível. As restrições do WIP permitem identificar possíveis gargalos e problemas durante o processo de produção, (Rosenfield Boeira, 2017).

Na maioria dos casos, a finalidade dos cartões *kanban* é facilitar o fluxo, promover produção flexível, facilitar o pull e eliminar *stock*. Quando o assunto é reduzir desperdício de superprodução, esta ferramenta é uma das melhores escolhas entre as metodologias Lean, (Lonnie, 2010). Nalguns casos os cartões são postos em todas as instalações necessárias que estejam ligados ao processo produtivo. Os cartões são colocados em áreas de trabalho e usados para sinalizar quando o material em utilização está a esgotar, neste caso o cartão é transformado em um elemento que serve para recuperar o material que terminou. O cartão contém todas as informações necessárias, (Ortiz, 2015).

A literatura apresenta dois tipos de *Kanban* como meio de comunicação no processo produtivo e identificam-se da seguinte forma: a) informação fornecida a partir da origem do processo associado ao número de peças, quantidade necessária e o local. b) Informação fornecida pelo destino do processo associado ao número de peças, quantidade necessária e o local, (Lonnie, 2010).

- Informação de movimento de peças, este *kanban* fornece informações com uma lista de necessidades para o próximo posto. Funciona como se alguém fosse às compras com uma lista de necessidades.

- Informações de pedido de produção, este *Kanban* de produção fornece informações principal da ordem de produção.

Para que as informações fluam de forma natural foram desenvolvidas seis regras que quando bem cumpridas permite um fluxo da produção mais flexível, as regras são listadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Regras dos cartões Kanban adaptado (Lonnie, 2010).

Regra	Função
1 O processo posterior vai para o processo anterior e pega o número de itens indicados pelo Kanban.	Cria pull, fornece informações de coleta ou transporte. O conceito de reabastecimento é formado aqui
2 Processos anteriores produzem itens em uma quantidade e sequência indicadas pelo Kanban.	Fornecer informações de produção e evita o excesso de produção
3 Nenhum item é feito ou transportado sem um Kanban.	Evita superprodução e transporte excessivo
4 Anexe sempre um kanban às mercadorias.	Serve como uma ordem de serviço
5 Os produtos defeituosos não são enviados para o processo subsequente.	Impede que peças defeituosas avancem; identifica processo defeituoso
6 Reduzir o número de kanban aumenta sua sensibilidade.	Redução de estoque reduz desperdício e torna o sistema mais sensível

Aplicação do sistema *Kanban* tem vários benefícios, entre eles:

- O controle e nivelamento do *stock* entre as estações de trabalho e reduz os custos;
- A redução de lotes de produção;
- A descentralização do controle da produção, isso permite que os operadores sejam mais autônomos;
- Controle visual do fluxo produtivo, Rodrigues (2015).
- Uso do espaço reduzido, movimentos reduzidos, cria um sistema repetível (Ortiz, 2015).

O *Kanban* apresenta algumas limitações que devem ser levados em consideração, e uma das limitações é que deve ser usado em uma linha de produção que seja repetitiva e pouca oscilação na demanda, se não for o caso, deve se utilizar uma outra ferramenta, como MRP, Rodrigues (2015).

2.7. Integração da Indústria 4.0 no Learning Factory

O crescimento tecnológico tem revolucionado e aumentado a capacidade dos sistemas industriais, que abraçaram fortemente uma infraestrutura inteligente que se resume em uma fábrica de aprendizagem onde máquinas, produtos e o homem estão interligados uns com os outros para alcançar produção flexível e criar valor. (Elbestawi et al., 2018). Este cordão tríplice permite gerenciar o chão de fábrica de forma digital, máquinas, sistemas de assistência visual, tecnologias de fabricação com inteligência artificial, realidade aumentada,

robótica colaborativa, sensores, componentes de automação de microprocessadores, microcontroladores avançado, internet das coisas, sistemas *cyber*-físicos e análise de *big data*, tais inovações são vistas como a 4ª revolução industrial ou indústria 4.0, (Baena et al., 2017).

O conceito da fábrica de aprendizagem relacionado à indústria 4.0 foi desenvolvido recentemente para melhorar a aprendizagem e treinamento a fim de garantir competências interdisciplinares, profissionalismo, adaptação a várias situações e modernizar o processo de aprendizagem a fim de se aproximar das práticas da indústria 4.0, (Wagner et al., 2012). As instituições de ensino e empresas precisam fornecer aos operadores deve se levar em conta várias tendências educacionais modernas que envolve o uso de novos dispositivos de aprendizagem, implementação de abordagens de aprendizagem baseada em projetos da indústria 4.0, (Elbestawi et al., 2018).

Recentemente Wanyama (2018), afirmou que Várias fábricas de aprendizagem são fracas em relação as ferramentas e equipamentos tecnológicos, apenas algumas fábricas de aprendizagem implementam componentes da indústria 4.0. Portanto, uma das razões pelas quais muitas empresas e instituições de ensino preocupam-se com esta situação porque as novas tendências tecnológicas, complexidade e o esforço pelo desenvolvimento, implementação e gestão desses sistemas de produção tendem a aumentar continuamente. (Elbestawi et al., 2018). Os desafios consistem no desenvolvimento de competências, bem como conceitos flexíveis e adaptáveis para lidar com as mudanças, pois que muitas empresas não estão prontas para mudanças, (Festo, 2019). Para enfrentar esses desafios e preparar futuros engenheiros para questões relacionadas, várias universidades têm desenvolvido fábricas de aprendizagem que lidam com Sistemas de Produção *Cyber*-Físico¹ da indústria 4.0, (Gräßler, Pöhler, & Pottebaum, 2016).

O uso crescente de sensores que comunicam no mesmo enlace de rede, permite a conexão em tempo real entre sistemas, máquinas, ferramentas, trabalhadores, clientes, produtos e outros objetos de origem a uma abordagem Internet das coisas (IoT). Por sua vez a grande quantidade de dados gerados por esta conexão é entendido como *Big Data*, este recurso permite uma produção personalizada que resulta na satisfação do cliente e na personalização do designe do produto.

¹ Refere-se a tecnologia com capacidade computacional e física que unifica a interação homem máquina, (S. Thiede, Juraschek, & Herrmann, 2016).

As iniciativas das fábricas de aprendizagem da indústria 4.0 trouxeram consigo a digitalização de processo de fabricação, máquinas reconfiguráveis em tempo real que dão maior flexibilidade de produção. Esta iniciativa é baseada nas tecnologias que são descritas na Figura 2.8, onde é demonstrado a cooperação e interligação de processos uns com os outros, (Bortolini et, al., 2017).

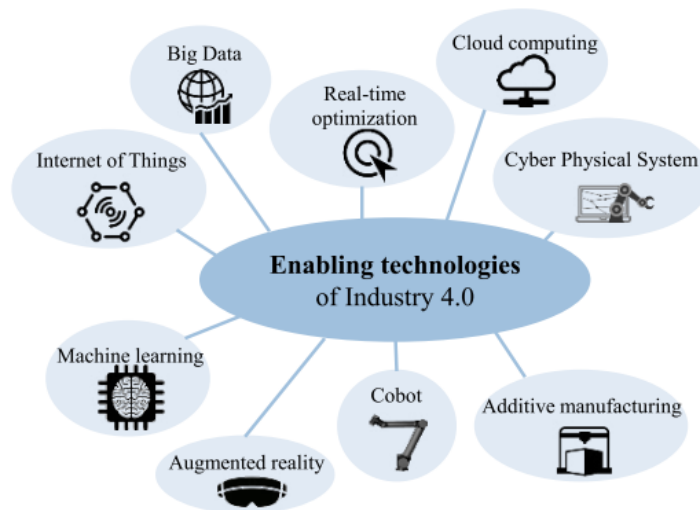


Figura 2.8 Tecnologias aplicada na Indústria 4.0 (Bortolini et, al., 2017)

2.7.1. Ambiente de Aprendizagem na Indústria 4.0

O sistema de aprendizagem dos dias atuais são diferenciados em relação ao sistema tradicional através do aumento dos sistemas automáticos, monitoramento e controle que deram origem a nova roupagem na formas como se transmite o conhecimento aos operadores, onde o mesmo é mais social, autônomo e orientado para o desempenho pessoal, (Pontevedra, 2019). Este avanço trouxe o paradigma do ambiente das fábricas de aprendizagem da indústria 4.0 que abrange uma variedade de ambientes de aprendizagem. Cada implementação de uma fábrica de aprendizagem é diferente e é feito para uma finalidade que também é diferente. Muitas das fábricas de aprendizagem mais recentes, têm foco na Indústria 4.0 e demonstram aspectos de implementação diferentes, (Reuter et al., 2017). O ambiente de Aprendizagem inclui várias ferramentas, máquinas e estações especializadas, com foco na indústria 4.0, nomeadamente, a Internet das coisas, automação, *hardware* e *software* integrado, sistemas de execução de manufatura, (Elbestawi et al., 2018), várias estações com robôs colaborativos, máquinas inteligente equipadas com sensores e atuadores digitais, Várias estações de Sistemas *Cyber*-Físico, estações de fabrico

que incluem impressoras de metal 3D e de plástico, máquina CNC, corte a *laser*, moldagem por injeção e uma estação de eletrônica, as estações de montagem, estação de embalagem, e estações de teste, componentes mecânicos e eletrônicos, (Elbestawi et al., 2018). As estações, máquinas-ferramentas, robots e sensores, mostrado na Figura 2.9.

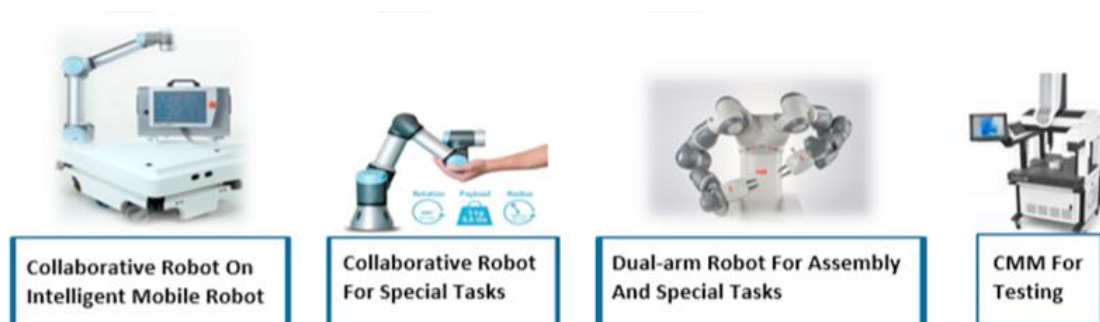


Figura 2.9 Equipamentos da fábrica de aprendizagem para indústria 4.0 (Elbestawi et al., 2018)

2.7.2. Ambiente de Aprendizagem Realidade Mista

Um ambiente de aprendizagem da indústria 4.0 é considerado misto quando existe a combinação de objetos reais e virtuais incorporando o mundo real e o mundo virtual. Já que os objetos reais são caracterizados por palpáveis. Ao contrário disso, os objetos virtuais são abstratos, (Milgram & Kishino, 2003). Ambos objetos são combinados em um ambiente de ressonância magnética, (Juraschek et al., 2018). Onde os objetos virtuais passam por um processo de simulação para criar uma representação holográfica e visível do ambiente utilizando um dispositivo de exibição, ao passo que os objetos reais são observados diretamente e transferidos para um dispositivo de exibição, (Azuma et al., 2001).

Este tipo de cenário permite o aumento a visualização digital das informações bem como a transmissão de instruções aos operadores. O ambiente de realidade mista abre novas tendências e formas de interação com os sistemas, facilita o intercâmbio homem-máquina melhorando o treinamento. Através deste é possível estender a infraestrutura real de uma fábrica de aprendizagem. Por exemplo, as máquinas podem ser aumentadas com peças virtuais com diferentes configurações. Esses elementos são apresentados na Figura 2.10. Isto resulta na economia do investimento para o *hardware* real e os tempos de configuração. O mesmo se da com as variáveis do produto que podem ser simuladas sem a necessidade da presença física dos produtos. No caso de ambientes com falhas do processo são experimentados num ambiente seguro e apropriado para treinamento. Este ambiente de

trabalho promove a colaboração dos operadores, por meio das ferramentas de visualização interativa, (Juraschek et al., 2018). A visualização é feita de forma holográfica e dá acesso a uma variedade de objetos virtuais para o usuário conectado ao ambiente da realidade virtual que é a submersão de objetos reais. Esta experiência proporciona um ambiente virtual próximo do real, (Billinghurst et al., 2015). A realidade aumentada funciona paralelamente em tempo real com o ambiente e permitindo assim a interação das pessoas com objetos reais e objetos virtuais, (Bortolini et al., 2017).

Juraschek (2018), afirma que, pelo facto dos ambientes de aprendizagem da indústria 4.0 combinarem a didática e a tecnologia, tais fábricas de aprendizagem são promissoras para o aprendizado das competências de realidade mista. Por outro lado, a realidade mista é utilizada nas fábricas de aprendizagem para melhorar a transmissão de conhecimentos e as competências dos operadores. A mistura de objetos digitais com o mundo real ultrapassa limitações físicas e permite experimentos que, se fossem reais, seriam muito caros e complexos.

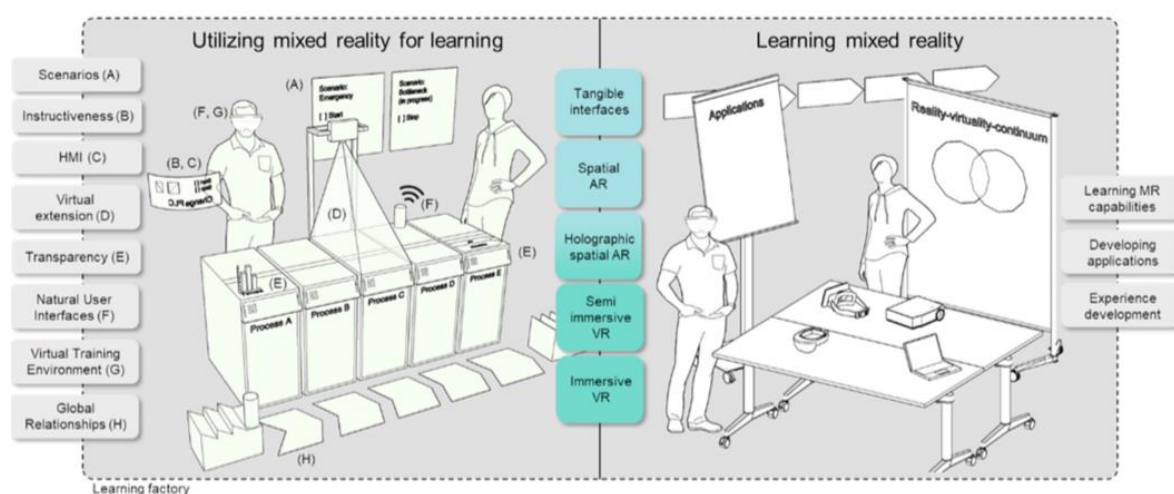


Figura 2.10 Aplicações da realidade mista LF (Juraschek et al., 2018)

2.7.3. Learning Factory com RFID na Linha de Montagem

O surgimento da indústria 4.0 trouxe consigo várias tecnologias que são aplicadas nas fábricas de aprendizagem e são capazes de digitalizar as fábricas de aprendizagem, esta digitalização parte da utilização do sistema de localização em tempo real (RTLS) que é desenvolvido com base na identificação por radiofrequência (RFID) e *ultra wide band* (UWB). Esta tecnologia mapeia a fábrica de forma holográfica (HWM) e projeta a estrutura RTLS. Tal projeção informa a localização em tempo real de todos os processos

influentes a produção, permitindo desta forma o monitoramento em tempo real do *kanban* ou dos processos de fabricação, (Huang et, al., 2017).

Quando posto numa balança RFID e o leitor de código de barra é possível notar o desequilíbrio porque o RFID é uma tecnologia que melhora significativamente o processo produtivo, localiza, identifica e direciona automaticamente a sequência que o produto deve seguir além de ter a capacidade de armazenar todas informações do produto, (Gotthardt et, al., 2019).

As informações que são passadas pelo display RFID incluem informações de atributos, estados, processos, localização do próximo item ou do item que foram processados, localização de recursos e assim sucessivamente, (Huang et, al., 2017).

A tecnologia RFID aplicado no processo produtivo é classificado e separado em dois tipos, que podem ser passivas e ativas, sendo a passiva utilizada para sinalizar itens sem bateria e a ativa que possuam bateria. A ausência de bateria permite a atualização do código de barra e transportar mais informações do item a ser processado. O RTLS tem sido usado em centros de distribuição de automóveis para encontrar um determinado veículo, localização de itens na fábrica que podem ser perdidos, gerenciamento de operações no processo de produção, gerenciamento de processos controlados por máquina, controle de chão de fábrica, logística reversa e precisão de inventário, (Ferrer, Heath, & Dew, 2011).

Existe uma sequência organizada de quatro camadas de funcionamento do sistema RFID que os autores assumem como sendo a sequência do funcionamento do processo que é descrito a seguir:

1) O processo começa pela coleção de dados dos recursos em tempo real que são recolhidos através do leitor RFID, antenas, etiquetas RFID, sensores, recetores, *tags*² e são armazenados no computador e posteriormente exibidos na tela, (Huang et, al., 2017). Estes equipamentos fornecem aos operários orientações de montagem, peças usadas, produto atual a ser montado, (Gjeldum et, al., 2018).

2) A segunda etapa é representada pelas atividades de leitura do RFID que confirma a posição do produto após receber um sinal RFID, (Gjeldum et, al., 2018). Aplicação de filtro de dados redundantes, classifica os dados e analisa os dados a fim de fornecer informações que podem ajudar o operador a tomar decisões, (Huang et, al., 2017).

²Chips conectados a uma antena que recebem as instruções por radio frequência, (Gotthardt et al., 2019).

3). Nesta etapa envolve a confirmação da realização da atividade com sucesso e exibição da atividade do leitor RFID, (Gjeldum et, al., 2018).

4) O display muda de tela para orientar a montagem seguinte informando ao operador que a leitura RFID do produto atual deve ser processada, (Gjeldum et, al., 2018).

Desenvolvimento do sistema RFID é usado de início com o *backbone* do sistema, que se refere ao banco de dados. A primeira etapa na configuração que processa os dados é criar um servidor *Web* local. No caso um servidor de código aberto do sistema operacional Linux, ou seja, servidor *LAMP*. A seguir é testado se os dados estão corretos e se são manipulados pelo leitor e o ID. Na etapa seguinte é projetado os painéis de controlo em tempo real. A Figura 2.11 mostra um diagrama que resume a instalação dos componentes entre os vários *hardwares* e *softwares*, (Louw & Walker, 2018).

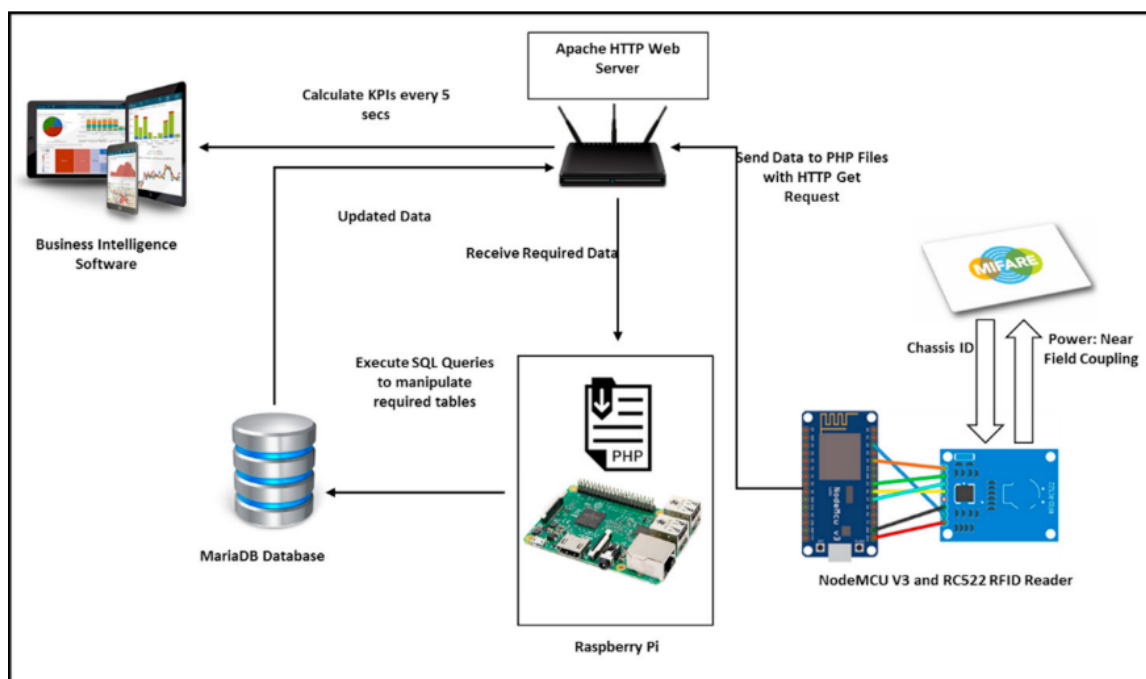


Figura 2.11 Funcionamento básico do sistema RFID (Louw & Walker, 2018)

2.7.4. Caso de Estudo Learning Factory LEAD

Na fábrica de aprendizagem LEAD é utilizado o sistema RFID tal como é ilustrado na Figura 2.12, todas estações de trabalho têm *tags* RFID conectados ao produto, cartões, caixas para embalagem e *kanban* do supermercado. A sinalização é observada a partir do visor que se encontra em cada posto de trabalho, desta forma o operador recebe informações sobre o produto que está a ser produzido, quantidade de peças disponível tanto no armazém como no seu posto de trabalho, resultando num bom fluxo de reabastecimento e a capacidade de cada posto é respeitada, (Gotthardt et, al., 2019).

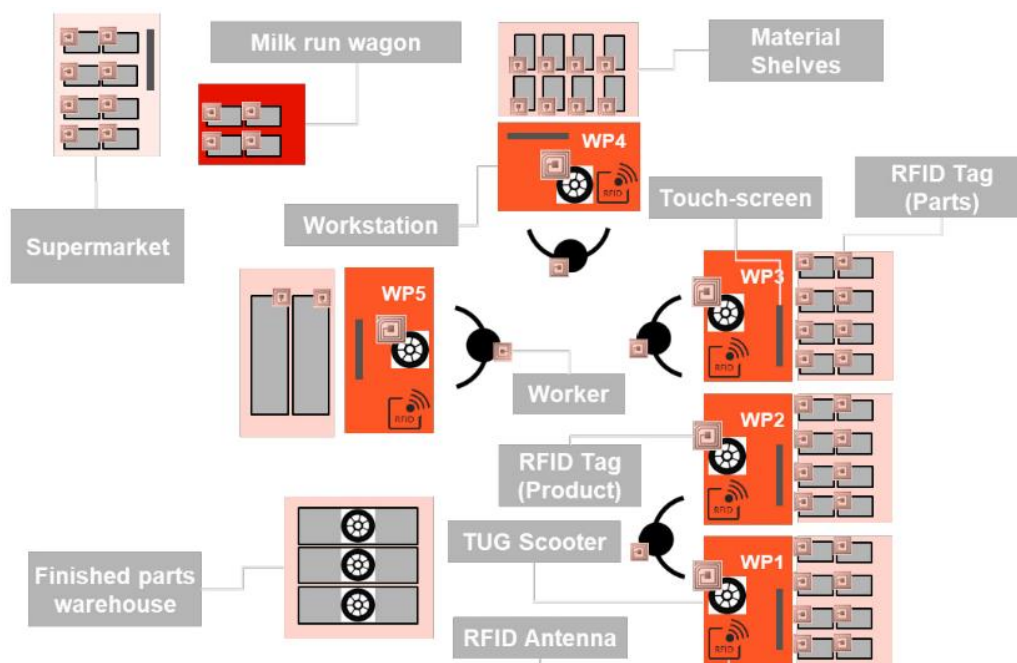


Figura 2.12 RFID na linha de montagem (Gotthardt et, al., 2019).

2.7.5. Benefícios da Implementação

A implementação é dividida em duas partes. A primeira destas etapas é o estabelecimento dos Sistemas *Cyber-Físico*, esta abordagem envolve sistemas autônomos que podem tomar decisões próprias com base em algoritmos de aprendizagem de máquina e captura de dados em tempo real, (Rojko, 2017). Efetivamente são monitorizados por sistemas de computador em rede e colaboração que são interativos integrados no mundo físico e seus processos. Neles são embutidos sensores e atuadores baseados em plataforma permanente por local ou redes globais com outros, (Geisberger et al., 2011). Este sistema serve para complementar qualificações e habilidades dos operadores e fornece habilidades técnicas inerentes aos sistemas inteligentes e fabricação avançada. A segunda etapa, sendo o foco principal da implementação e mais prático, é o estabelecimento de uma fábrica ensino e aprendizagem para a Indústria 4.0 e pesquisa.

Os benefícios da implementação, associação Learning Factory e a Indústria 4.0 são bem conhecidos e enfatizados com mais frequência. Em função dos benefícios obtidos por muitas empresas, instituições de ensino, portanto quando se trata dos custos de produção a indústria 4.0 é uma solução promissora, um exemplo da redução de custos é o estudo realizado por Bauernhansel (2016), mostrado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Melhoria da produtividade global. Adaptado de Bauernhansel (2016)

Custos	Efeitos	Potencial
Custos de inventário	Redução de estoque de segurança	-30 a -40%
Custos de produção	Melhoria do OEE	-10 a 30%
Custos logísticos	Aumento da automação	-10 a -30%
Custos de complexidade	Solução de problemas	- de 60 a -70%
Custos de qualidade	Controlo de qualidade em tempo real	- de 10 a 20%
Custos de manutenção	Otimizar e priorizar	- 20 ^a 30%

No que tange as unidades curriculares que tratam das ferramentas Lean Manufacturing, as fábricas de aprendizagem também assumem posições de destaque no processo de ensino, nomeadamente, o desenvolvimento cognitivo do operador, tais como a capacidade de desenvolver e aplicar técnicas das mais variadas metodologias Lean, desenvolver conhecimento estrutural de problemas apropriados à investigação interdisciplinar, integrar conhecimentos de duas ou mais disciplinas como é o caso do presente estudo, (Hall, 2011).

Jorgensen (1995), retrata que além dos benefícios citados acima é possível observar que os operadores estarão capacitados a novas tendências e com grande facilidade de adaptação às mudanças curriculares, ligação direta de estudos teóricos com *layout* baseado na prática bem como atividades que capacitam o operador resolver problemas.

Um dos grandes benefícios das fábricas de aprendizagem é a interação, contacto e desafios que o operador enfrenta com problemas e projetos antes de viver o cenário real das fábricas. A complexidade do processo de aprendizagem baseado em problemas reais requer um conhecimento prévio. O estudo de (Hays, 2005), demonstra que aprendizagem baseada em problemas e projetos associados a pequenos grupos de operadores produz resultados eficazes com efeitos positivos, (Rybski & Jochem, 2016).

Todos os benefícios são resumidos pela capacidade de resposta ao cliente, permitindo a produção em massa e o uso eficiente dos recursos e energia, (Rojko, 2017). Facilidade em trabalhar com sistemas independentes, sistema de controlo de processo central, sensores, atuadores e outros sistemas de controlo, (Wank et al., 2016). O treinamento

garante que os operadores desenvolvem competências técnicas real através da aprendizagem assim como mostra a Tabela 2.3 algumas vantagens relacionadas a aprendizagem.

Tabela 2.3 Vantagens das Learning factory (Rybski & Jochem, 2016); Jorgensen (1995).

Assimilação da Matéria	Experiência de Aprendizagem
O operador é capaz de absorver grande quantidade de informação em um curto período de tempo	Ativação automaticamente da percepção e recepção de conhecimento
Os processos de aprendizagem são planejados com maior antecedência em comparação com os processos de aprendizagem experiencial	Potencialidade para desenvolver capacidades de liderança dentro de um grupo de aprendizagem
Classificação direta e sistemática da informação sem incerteza por parte do operador	A aprendizagem orientada para a aplicação motiva e cria uma ligação entre a aprendizagem e a vida real, facilita a transferência e gera motivação
Forte base nos fundamentos da ciência de engenharia;	
Os operadores Inexperientes são dirigidos para um nível apropriado de conhecimento	A transferência de conhecimento tende a ser mais sustentável do que nos processos de aprendizagem de assimilação de informação
Terão conhecimento amplo das ferramentas e tecnologias para resolver problemas reais;	Experiencia no e toca a fabricação, produção incluindo o processo de <i>design</i>
Os operadores estarão sempre preparados e motivado para aprendizagem.	

2.7.1. Limitações e Desafios

Infelizmente a literatura apresenta poucos estudos que abordam sobre os desafios, limitações, desvantagens e problemas no decorrer da sua implementação ou mesmo

depois da instalação. Antes é importante realçar que as fábricas de aprendizagem têm muitas vantagens e isto deixa mais evidente as vantagens. Apesar disso o autor Bauer (2018), apresenta duas categorias de desafios relacionados implementação, que são apresentadas a seguir:

- **Desafio de rastreabilidade:** Uma vez que o cliente exige transparência total no processo de montagem, o desafio consiste em cumprir três passos para a montagem, (a) quais são os componentes, (b) quando os componente foram montados e por quem, (c) entrega do produto com exatidão. No processo de montagem é feito o rastreio por meio de um registro detalhado feito. O objetivo é garantir consistência e simplicidade na linha de montagem.

Desafio de Mudança Demográfica: as mudanças demográficas resultam em desperdícios e exige adaptação dos funcionários, (Bauer et al., 2018).

Em termos de desenvolvimento de competências existem alguns problemas porque a instalação requer um técnico especializado para a projeção. Infelizmente os técnicos se focam em mapear o cenário sem aplicar conceitos didáticos com abordagem científica para o desenvolvimento de competências, por esta razão os formadores devem analisar, avaliar, validar e redesenhar a Fábrica de Aprendizagem, (Hertle et al., 2013).

A realidade das fábricas de aprendizagem representa processos e configurações de ambientes industriais, por esta razão, apresentam certos limites que são descritas por Tisch & Metternich (2017). Tais limitações podem ser identificadas por meio das seguintes considerações:

- Recursos necessários para o aprendizado de fábricas;
- Capacidade de mapeamento de problemas em fábricas de aprendizagem;
- Mobilidade das abordagens da fábrica de aprendizagem;
- Eficácia das fábricas de aprendizagem.

Recursos limitados: A construção e operação das fábricas de aprendizagem envolvem muitos recursos. Nomeadamente, equipamento apropriado, espaço, pessoal adequado.

Capacidade limitada de mapeamento: uma única fábrica de aprendizagem não é capaz de mapear um ambiente completo, envolvendo todos os desafios e assuntos industriais, por esta razão é necessário enfatizar tópicos específicos da aprendizagem em questão, uma vez que as fábricas de aprendizagem lidam com desafios e problemas em todos os níveis da fábrica.

Escalabilidade limitada: A escalabilidade do número de operadores para o aprendizado é realizada com um ou dois formadores e isto limita de 10-15 operadores.

2.8. Aprendizagem Baseada em Jogos

A aceitação dos jogos para auxílio do ensino é cada vez maior, com principal destaque nos cursos de engenharia de industrial em função da massificação da tecnologia e ferramentas utilizadas em ambientes reais. Atualmente os jogos são usados como ferramentas que apoiam as aulas, pois permitem treinar, ensinar, aprender e identificar elementos que não são fornecidos com métodos tradicionais, (Monsalve et al., 2014). Esta abordagem é aplicável aos jogos de computador e *software* que são usados para fins de ensino e aprendizagem (Tang, Hanneghan, & Carter, 2013).

A aprendizagem baseada em jogos refere-se à abordagem inovadora de aprendizagem que se origina de uso de jogos que possuem valor educacional. À medida que os jogos se tornam uma cultura entre a nova geração de aprendizes, muitos pesquisadores e profissionais passaram a concordar que agora é apropriado explorar as tecnologias dos jogos para criar ferramentas tecnológicas educacionais e preparar os operadores de todas as idades com habilidades necessárias, (Tang et al., 2013).

O objetivo fundamental é proporcionar estímulo, suporte de aprendizagem, aprimorar o ensino, avaliar e motivar os operadores a fim de mostrarem mais interesse na matéria em estudo e conseqüentemente aumenta a eficácia da aprendizagem. Os jogos afetam as funções cognitivas do operador deixando-o fascinado em vencer os desafios. Aproveitando-se deste recurso os professores podem apresentar ou lecionar de forma colaborativa e divertida, (Educativa, 2012). No entanto, a aprendizagem baseada em jogos para que surta o efeito desejado é necessário que tenha um bom direcionamento, caso contrário, pode levar a que os operadores percam o foco e dificulta o processo de ensino e aprendizagem, porém requer um bom planejamento, monitoramento e avaliados do princípio ao fim, (Monsalve et al., 2014).

Um grande potencial dos jogos é a possibilidade de tornar os processos de aprendizagem baseado na experiência do jogo. Este ensino, enfatiza a importância da aprendizagem experiencial, onde a pesquisa mostrou que aprender tem a maior possibilidade de reter, aplicar e ganhar conhecimentos sólido, (ElMaraghy et al., 2015). De modo a

permitir que este tipo de aprendizagem, os ambientes simulados dos jogos para aprendizagem devem ser mutáveis de modo a estar aberto às ideias dos operadores, (Abele et al., 2015).

A ocorrência do processo na fábrica de aprendizagem ocorre em 4 fases tal como a Figura 2.13 apresenta uma abordagem explicativa das diferentes fases.

- Primeira fase, revela baixa qualificação e conhecimento por parte do operador, esta fase serve para observação do estado da fábrica, e definir o ponto de partida da produção.

- Segunda fase é a transmissão de material teórico e noções básicas com objetivo de gerar conhecimentos básicos e específicos.

- Terceira fase é a implementação e aplicação dos conceitos aprendidos nas fases anteriores. Inclui prática e medidas para melhorar a arrumação do chão de fábrica.

- Quarta fase é a medição da mudança, análise e discussão dos resultados, é considerado a fase mais importante do treinamento porque permite perceber possíveis problemas durante a implementação, observar o alcance dos objetivos das metodologias Lean aplicadas. E posteriormente aplicar melhoria contínua e atingir os objetivos diante dos operadores.

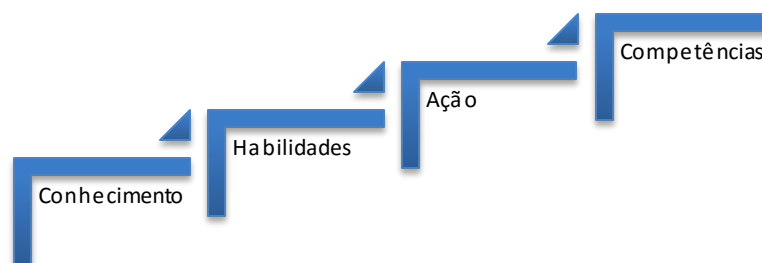


Figura 2.13 Processos de aprendizagem baseado em jogo, adaptado (Abele et al., 2015).

O conhecimento é a combinação da experiência que se adquire através da ação repetitiva que leva a competência por esta razão o autor Pontevedra (2019), deixa claro que as operações ágeis dependem do conhecimento que é desenvolvido por meio de transformações de experiências, é por esta razão que as fábricas de aprendizagem devem ter um ambiente industrial realista que proporciona treinamento autêntico e experiência aos operadores o que resulta na aquisição de conhecimento.

2.8.1. Simulação de jogos no Learning Factory

Simulação e jogos têm sido utilizados frequentemente para treinar estudantes e profissionais a fim de enfrentarem as ferramentas Lean e aproveitar os benefícios das metodologias Lean Manufacturing. Jogos de simulação têm sido utilizados em diversas áreas de ensino, desde simulação de aeronaves até simulação de comportamentos interpessoal em empresas e organizações, (Blöchl, Michalicki, & Schneider, 2017).

Simulação é definido por alguns autores como representações de alguns fenômenos do mundo real que também podem assumir alguns aspectos da realidade para jogadores ou participantes. Jogos e simulações no ambiente acadêmico estimulam reações mistas. Por um lado, deixa os operadores muito preocupados com a eficácia dos jogos e por outro lado a simulações para o desenvolvimento de conceitos de aprendizagem, (Ncube 2007). O ambiente de Jogos e simulação permite que os operadores discutam, participam e tomem decisões, (Vaz de Carvalho et, al., 2014).

Simulação de jogo é um ambiente que simula um cenário de jogo de acordo com as regras preestabelecidas em função do produto que envolve jogo. As interações entre os objetos do jogo e os resultados de uma interação em uma simulação de jogo são definidos usando as regras do próprio jogo, (Mortara et al., 2015). Os jogos são projetados para imitar a realidade dentro da sala de aulas para que o estudante experimenta o fenômeno estudado de forma indutiva, (Blöchl et al., 2017).

A simulação de jogos tem a vantagem de hospedar vários cenários de jogo, sendo que cada cenário do jogo e a instalação usam vários objetos do jogo para criar um ambiente e uma sequência de eventos de jogo para atingir os objetivos previstos do jogo que desafia ambas as habilidades do jogador e conhecimento do jogo, (Tang et al., 2013). Naturalmente existe uma vasta aplicação de jogos que para o caso do estudo atual aplicou-se um filtro para classifica-los e posteriormente definir os jogos utilizáveis. Diante de tantos jogos e aplicações, nomeadamente jogos digitais, jogos lúdicos, jogos sérios, gameificação, simulação e outros, (Rosenfield Boeira, 2017). A seguir, são apresentados conceitos básicos e dada uma breve explicação das categorias dos jogos mencionados:

Jogos para aprender e ensinar: estes são jogos criados para ajudar a ensinar algo jogando um jogo real.

- Simulação de Jogo: é a representação virtual de um especto real a jogabilidade geralmente reflete o propósito de ensinar. (Rosenfield Boeira, 2017). No caso

dos jogos físicos são aqueles jogáveis em um espaço real, simulam ambientes de produção de forma realista e detalhada, na qual a interação entre os jogadores é crucial para a divisão das tarefas e desenvolvimento do jogo, simulação de ações da equipe onde o objetivo principal é produzir um determinado produto, o processo de treinamento é representado através da Figura 2.14. (Vaz de Carvalho et, al., 2014).

- Na primeira fase, é dada uma tarefa, nesta fase os operadores analisam o ambiente da fábrica e os resultados da ronda anterior a fim de tomarem decisões e servir como ponto de partida.

- Na segunda fase, os operadores entram em ação fazendo medições e implementando o jogo. Se houver vários participantes as tarefas são distribuídas para evitar desperdício. Normalmente as tarefas são adaptadas as restrições do cenário e do jogo. A simulação permite observar os efeitos.

- Terceira fase: utiliza-se os resultados obtidos pela simulação. Efeitos se tornem visíveis. Como na atuação em tempo real, as predefinições de cenário podem afetar o comportamento da simulação, (Thiede et, al., 2017).

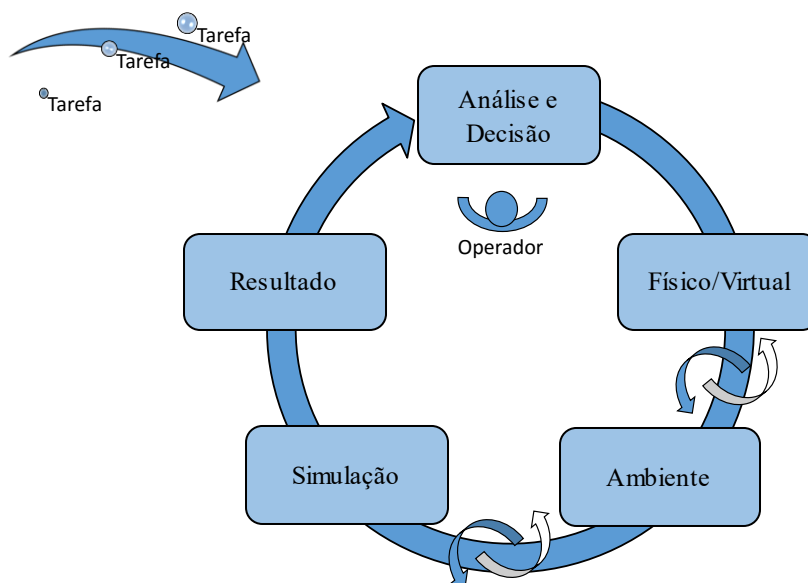


Figura 2.14 Framework do jogo, adaptado (Thiede et, al., 2017).

Existem cinco razões definidas pelo autor Ncube (2007), que sugere a utilização deste tipo de Framework nos jogos em uma fábrica de aprendizagem, o autor afirma que esta *framework* permite que os operadores se envolvam no processo de análise, planejamento e tomada de decisão facilitando assim a integração dos operadores com a organização.

Jogos e simulações dão a possibilidade de utilizar equipamentos que de outra forma a instalação e compra seriam muito caros.

2). Permitem que o operador se envolva em atividades que são difíceis de realizar por outros meios.3) Jogos e simulações incorporam um nível de flexibilidade e complexidade a fim de responder as necessidades do processo de aprendizagem. 4) Jogos e simulações resultam numa discussão calorosa entre os operadores após os jogos, (Ncube 2007).

2.8.2. Jogos Lean Learning

Nesta seção, apresentar-se-ão alguns jogos já desenvolvidos para fins educacionais. De um modo geral a simulação destes jogos representam um processo produtivo dos quais são mostrados na Tabela 2.4. O desenvolvimento dos jogos variam de acordo a aplicação, usuário, dinâmica do jogo, plataforma, e o gênero. A escolha do formato e de outros requisitos do jogo dependem do objetivos do jogo, público-alvo e exigências educacionais, (Shegog, 2010).

Tabela 2.4 Adaptado (Carmona, 2015); (Moutinho, 2012) e (de Smale 2015). Jogos Lean.

Tipo	Categoria	Aplicação	Tema de Pesquisa do Jogo
<i>Lean Board Game</i>	Simulação Lean Learning	Educação	Lean na prática
Fabrico de Tomada			Otimização <i>Layout One piece flow</i> kanban Balanceamento do trabalho
Fabrico de Esferográfica			Jogos de Simulação Baseados nas Metodologias Lean
Fabrico de lanternas			Otimização <i>Layout One piece flow</i> kanban Balanceamento do trabalho Resolução de problemas Melhoria de qualidade
Redução de Setup			SMED
Simulação de uma linha de produção			Balanceamento do trabalho Dimensionamento dos armazéns
Jogo do lego			5s Trabalho normalizado Gestão visual
Jogo do barco <i>Push- Pull</i>			<i>One piece flow</i> Balanceamento do trabalho Dimensionamento dos armazéns

2.9. Relação das Unidades Curriculares com Objetivo do Trabalho

Tudo quanto será abordado neste trabalho está diretamente relacionado com gestão e controlo da produção. Baseando-se no programa disponibilizado pela universidade, (Coimbra, 2019), é possível descrever detalhadamente os objetivos do currículo que se pretende atingir. Portanto a síntese das competências das unidades supracitadas é capacitar os operadores do departamento de conhecimentos de gestão da produção, com destaque particularmente em aspetos técnicos, análise e estratégicos. Os operadores que frequente m estas unidades curriculares deverão ser capazes de: “Compreender os pilares da competitividade (qualidade, custo, flexibilidade e tempo) e a sua relação com a gestão da produção. Conhecer os diferentes conceitos para gestão da produção, as suas vantagens e limitações e ser capazes de escolher o conceito mais adequado a diferentes tipos de sistemas produtivos. Conhecer e saber utilizar as metodologias Lean para medição e controlo da produtividade. Finalmente, pretende-se que os operadores adquiram um conjunto de ferramentas para controlo dos custos de produção, produtividade e sua medição” (Coimbra, 2019).

3. INDUSTRIALIZAÇÃO LEARNING FACTORY

O presente capítulo é voltado para o desenvolvimento do processo de industrialização que é desenvolvido na fábrica de aprendizagem do departamento, transmitindo assim de forma adequada os princípios Lean Manufacturing. O processo de simulação vai contar com os seguintes pressupostos: Definição do produto a ser montado, a quantidade a ser montada, quando montar, número de postos de trabalhos que a fábrica de aprendizagem terá, sequência de montagem do produto, cálculos do *tack time*, sequência de operações, dimensão do *stock*, reposição de *stock*, *layout* da fábrica de aprendizagem, utilização do gabari para simplificar a montagem, reduzir o tempo de montagem e garantir uma produção mais flexível, reabastecimento, processos com cartões kanban, organização dos cartões na sequência exata bem como a definição da capacidade máxima de cada postos de trabalho. Antes de abordar o processo de industrialização é importante conhecer o material que está ao nosso dispor na fábrica de aprendizagem do DEM, por esta razão os primeiros subtemas irão dar *insights* sobre o equipamento disponível. O objetivo do processo de industrialização é tornar possível a transmissão de conhecimentos Lean e gestão de fluxo de materiais e resultará num documento com a capacidade de explicar aos futuros operadores da fábrica de aprendizagem do departamento de mecânica do curso EGI como ocorre um processo de produção desde a planeamento até o produto acabado, um outro objetivo deste processo é fugir dos métodos tradicionais de ensinar os operadores o processo de produção.

3.1. Caracterização Learning Factory do LAB-EGI

De acordo com as características apresentadas pelos autores foi possível utilizar os mesmos padrões estabelecidos pelos autores para classificar e delinear a fábrica de aprendizagem que se encontra no laboratório do curso de engenharia indústria. Para se entender como a Fábrica de Aprendizagem está configurada, é necessário a realização de uma avaliação dos recursos. Deste modo, foi identificado os requisitos mais importantes do projeto, a fim de abordar uma grande variedade de problemas e soluções. A tipologia é mapeada em função da variedade de características que combinam o caminho deixado pelos autores e pela forma como se tem classificada determinadas fábricas de aprendizagem. Os recursos destacados com a cor azul na Tabela 3.1 são identificados como os recursos de

design que caracterizam a fábrica de aprendizagem do departamento em estudo, pois, segundo Hertle (2013), estas são as características usadas frequentemente por todas as fábricas de aprendizagem, são as características definidas de acordo com os equipamentos que a fábrica oferece, embora que, tais recursos não são suficientes para o desenvolvimento de pesquisas inovadoras a par das novas tecnologias que as indústrias oferecem atualmente.

Tabela 3.1 Características LF LAB-EGI adaptado (Hertle et al., 2013)

característica	Descrição				
organização operacional	indústria	consultoria	universidade	instituto tec	escola profs.
Tipo de utilização	educação / formação	pesquisa		uso industrial	
Público-alvo industriais	funcionários / operadores		engenheiro	gerente	
Público-alvo acadêmicos	estudantes	grupo de pesquisa		pós graduado	
outros grupos-alvo	especialistas em Lean		outros pesquisadores		
indústrias selecionadas	engenharia industrial	engenharia mecânica	indústria elétrica	mecânica e indústria	
produtos	produto real		produto artificial	serviço	
processo de produção	logística montagem	maquina	linha de montagem	IT	produção
conteúdo do módulo	Lean	Controlo de qualidade	diagnostico	tec. otimização	
de partamento s integrados	produção	design e desenvolvimento	planeamento e produção		Distribuição
métodos de ensino integrados	discussão	caso de estudo	role play game	jogos	
	apresentação	demonstração	simulação de jogos		apresentação

Quanto ao cenário, de acordo com a literatura pode se assumir que estamos diante de um ambiente industrial e acadêmico, porque cumpre com os requisitos pré-estabelecidos pelos autores, segundo Abele (2015), as condições que o ambiente de aprendizagem do laboratório do departamento apresenta pode servir para treinamento prático, aprendizagem ativa dos operadores, trabalhar com um produto real, (pese embora tal produto não esteja no mercado), montagem do produto, gestão visual com cartões *Kanban*, controlo da produção com RFID, controlo de qualidade, planejar uma linha de montagem, transmitir conhecimentos Lean com análises de *tack time*, *lead time* e *cicle time* etc.

A Learning Factory do LAB-EGI já conta vários equipamentos que podem ser utilizados pelos operadores, embora na falta de muitos equipamentos que estão associados à tecnologia digitais e indústria 4.0, os equipamentos existentes são os seguintes: uma linha de montagem com três postos de trabalho flexíveis e configuráveis, componentes para a montagem do produto, (tubo grande, tubo pequeno, parafuso espiral cone, parafuso ponta plana, porcas, terminal plástico, junta, chave sextavada, chave de fendas), equipamentos que compreendem a fábrica de aprendizagem; um carrinho de abastecimento, caixas pequenas, caixas grandes, um armazém, peça modelo montada, impressora 3D, equipamento de controlo de produção RFID, *Raspberry Pi*, tablets para gestão visual, leitor de código de barra, display LCD³, a LF do departamento conta com um espaço físico de 54 m².

3.2. Missão da Fábrica de Aprendizagem do LAB-EGI

A missão da fábrica de aprendizagem do LAB-EGI é trazer a realidade de uma fábrica para transmitir conhecimentos práticos industriais por meio de projetos baseados nas metodologias Lean, planeamento e controlo de produção. Nesta Fábrica de Aprendizagem Lean, embora com poucos recursos existem algumas atividades que podem ser realizadas pelos operadores.

De acordo com os equipamentos em disposição na LF os operadores realizam o processo de montagem de um produto onde os operadores são beneficiados de práticas e experiência lúdica que pode ser feita em equipa, planeamento de um processo produtivo, fabricação de um produto, melhoria contínua, controlo de qualidade, gestão de abastecimento, otimização de fabricação, *layout* de uma fábrica, jogos didáticos, simulação, *Kanban* e outras habilidades de gestão industrial, os operadores também terão capacidade analítica para resolver problemas de produção, experiência colaborativa e criatividade no local de trabalho com perspetivas interdisciplinares e habilidades sociais. LF LAB-EGI está disponível para aulas, treinamento, teses de mestrado e outros estudos de gestão industrial.

³ Para mais detalhes a respeito dos equipamentos da LF LAB-EGI, consulte anexo A.

Baseando-se no modelo do autor Veza (2017), é apresentado um modelo que organiza as aplicações da fábrica que é mostrado na Figura 3.1.

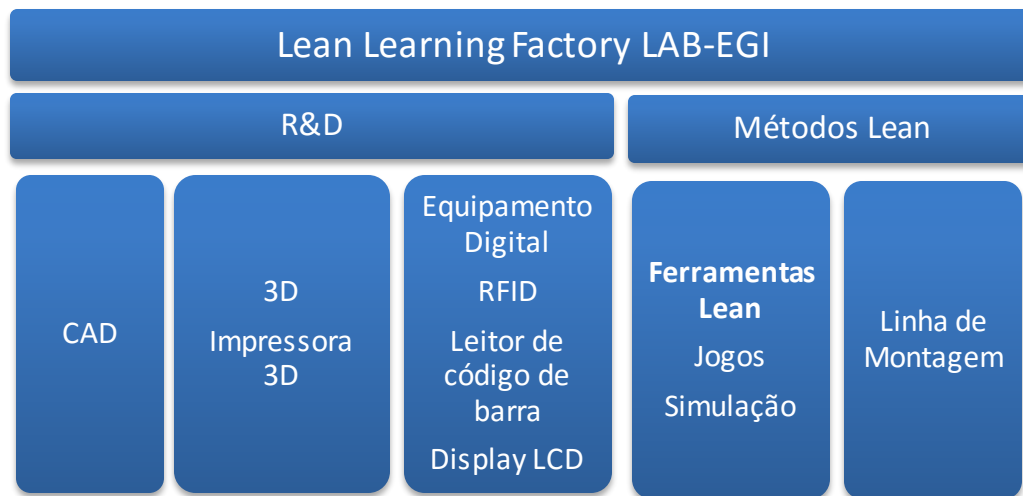


Figura 3.1 Aplicação LF do LAB-EGI, baseado no modelo criado Veza (2017).

3.3. Análise Comparativa da Fábrica de Aprendizagem LAB-EGI

Para a realização de um estudo comparativo entre as fábricas é imperativo conhecer a fundo os equipamentos que compõe uma fábrica de aprendizagem, desde as fábricas mais básicas até as mais avançadas tecnologicamente incluindo equipamentos da indústria 4.0, portanto, as pesquisas foram alargadas a fim de satisfazer o subtema acima. As fábricas de aprendizagem hoje contam com vários equipamentos e sistemas que são descrito a seguir: Carrinhos de transporte com o sistema de encaixe de tubulação da GS ACE, prateleiras com sistema de tubulação por GS AC, sistema de conexão de tubos, BeeWaTec⁴, trilhos de rolos, atiradores, robô transportador de produto, robô de transporte universal, robô colaborativo, *bee charge wireless energy*, elementos adicionais (painéis de informação, porta ferramentas, braço dobrável, AVG's, E-Kanban, placas, *beesaves*, *beepratical* (caixa de armazenamento), *workbenches*, *Milk-run systems*, sistema *pick-to-light*⁵, *Ergonomic work place system*, Sistemas Modulares (carrinhos de rack), *Roller Tracks*, *DESMO System tables*, *SWING System tables*, *beelax chair* etc.

⁴ Refere-se, a um material de que serve para adaptar as ideias ao ambiente de produção individual, com rapidez e facilidade, (BeeWatec, n.d.).

⁵ É um sistema que serve para exibir no ecrã as peças a serem escolhidas, entregas e pedidos, esta tecnologia ajuda o operador de logística a ser mais eficiente, (Gotthardt et al., 2019).

Após análise da literatura no que tange aos equipamentos instalados nas fábricas de aprendizagem com objetivo de fazer um estudo comparativo entre as fábricas de aprendizagem, pode se afirmar que as instalações dependem dos produtos que serão produzidos na fábrica de aprendizagem e dos módulos de ensino, mas esta afirmação não é um fator limitador para instalação dos equipamentos, pois que, existem equipamentos padronizados que a sua instalação é imperial, refere-se a instalação de um posto de trabalho, linha de montagem, armazenamento, carro logístico, prateleiras, caixa e ferramentas secundárias. Para sustentar esta afirmação, segue-se alguns exemplos de fábricas de aprendizagem bem-conceituadas que servirão de comparação com a fábrica do LAB-EGI.

- LF TUDortmund – Alemanha
- Graz University of Technology’s LEAD Factory
- FSRE Learning Factory University of Mostar
- LF RWTH
- Concept of the green factory Bavaria in Augsburg
- Smart Factory laboratory at MTA SZTAKI
- TUWien Learning and Innovation Factory
- SEPT Learning Factory for Industry 4.0
- The Fraunhofer Institute IWU
- FESB brasil
- Penn State University

Tabela 3.2 Análise das características entre as fábricas.

Fábricas	TUDortmund	LEAD Factory	FSRE LF of Mostar	SZTAKI SMART FACTORY	SEPT LF for Industry 4.0	L F Bayreuth	UC-LF-LAB-EGI	LF RWTH	TUWien LF
Produto	Troinete	TUG Scooter		Carros de Brinquedo		Roda Dentada	Talocha	Sport-Kart	Carro de Slot
Característica									
Smart Factory				✓	✓	✓		✓	
Sistema pick to light		✓	✓		✓			✓	✓

Fábricas	TUDortmund	LEAD Factory	FSRE LF of Mostar	SZTAKI SMART FACTORY	SEPT LF for Industry 4.0	L F Bayreuth	UC-LF-LAB-EGI	LF RWTH	TUWien LF
Produto Característica	Troinete	TUG Scooter		Carros de Brinquedo		Roda Dentada	Talocha	Sport-Kart	Carro de Slot
Sistema cyber físico	✓	✓		✓	✓				
Serviço			✓		✓				
Produto	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Pesquisa		✓	✓		✓				
Lean tools and methods	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Impressora 3D	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Produto no mercado	✓	✓		✓		✓		✓	✓
Equipamentos I4.0		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Automation and robotics	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
Linha de montagem	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
RFID na linha de montagem		✓	✓	✓	✓		✓ Não instalado	✓	✓
Realidade virtual				✓	✓				
Manufatura aditiva					✓	✓		✓	✓
Estação CNC					✓	✓		✓	✓
Sistema de solda a Laser					✓	✓			✓
E kanban		✓		✓	✓				
Postos de trabalho		5			6		3		
Dimensão				100m ²			54m ²		140m ²

O estudo comparativo entre as fábricas existente deixa claro que a diferença entre elas é baseada especificamente no objetivo da fábrica, tais como treinamento, ensino e

pesquisa, além disso o tipo de produto a ser produzido pela fábrica influencia diretamente nos equipamentos que compõem a fábrica, entretanto, a forma mais adequada para estabelecer comparação entre elas é por comparar fábricas que têm os mesmos objetivos e aquelas que produzem os mesmos produtos.

É importante sublinhar que o estudo comparativo entre as fábricas é referente a fábrica de aprendizagem no LAB-EGI em comparação com as fábricas existentes, não obstante a comparação possibilitou saber até que ponto a fábrica de aprendizagem se encontra neste ramo, a Tabela 3.2 apresenta as características das fábricas existentes e mostra claramente a capacidade instalada da Learning Factory do DEM, sendo assim os equipamentos evidenciados bem como a dimensão da fábrica encontra-se em estado desfavorável em termos comparativos, ou seja a fábrica encontra-se em estado de insuficiência, até então, não é capaz de atender completamente as exigências do curso de EGI, temos recurso limitados para o apoio do curso, por exemplo, não temos um produto no mercado ao paço que normalmente as fábricas bem conceituadas têm um produto no mercado, a fábrica não está capacitada para oferecer um serviço, um dos pontos a destacar é o baixo índice de automatização porque com o surgimento da indústria 4.0 urge a necessidade de aquisição de equipamentos relacionados com a indústria 4.0 para que se tenha a abertura de uma infraestrutura inteligente, a dimensão da fábrica não possibilita instalação de outras estações de uma fábrica ou a instalação de um sistema *Cyber-físico*, se observar atentamente a Tabela 3.2 perceberá que a fábrica em estudo (coluna amarela) é desfavorecida em vários aspectos, todavia pode ser considerado um fator limitador de aprendizagem para os operadores do curso.

Necessariamente a fábrica de aprendizagem em estudo deve adquirir muitos outros equipamentos para estender os níveis de aprendizagem dos operadores da instituição. Para este efeito é sugerido que aquisição seja feita na *Beewatec* ou *Festo*, visto que a revisão da literatura mostra que estas empresas têm fornecido instalações de última geração incluindo robôs às fábricas de aprendizagem em várias instituições e indústrias.

3.4. Fluxo do Processo de Produção

Depois de ter feito uma breve apresentação da fábrica de aprendizagem, já é possível usar da mesma abordagem para estabelecer a sequência de montagem do produto.

O autor Reis (2015), afirma que o planeamento de qualquer sequência de montagem está sob os seguintes procedimentos:

- Desenho da montagem, sendo que este desenho ajuda o operador a ter uma visão geral do equipamento a ser montado;
- Lista de material para a montagem, mostrando os elementos que compõe o produto e pode ser idealizado com árvore do produto MRP;
- Controle de qualidade.

3.4.1. Workflow do Processo de Produção

- **Programação da Produção**

A Figura 3.2 mostrada através do *workflow* seis procedimentos que serão realizados para a produção, partindo pela programação da produção, os operadores netas fase são distribuídos em equipas para planejar a melhor maneira de execução, análise do produto, quantidade a ser produzida, análise de custos, definição do lote de produção, tempo disponível para a produção e quais metodologias Lean aplicar para evitar possíveis desperdícios.

- **Especificações do Produto**

Após a definição da primeira fase é feita análise do produto que envolve todos os componentes que constituem o produto, reunião das informações críticas do produto e a disponibilidade dos componentes para a produção bem como as necessidades técnicas.

- **Montagem do Produto**

Nesta fase é feita a definição dos níveis de montagem e submontagem, sequência de montagem, sequência de operação, divisão das operações por operadores, distribuição das peças aos respetivos postos, equilibragem da linha de montagem, *layout* da produção para se adequar as necessidades da produção e definir o fluxo de produção que no caso deste Projeto foi definido fluxo contínuo. Após as primeiras montagens é feito testes e análise detalhada das dificuldades da montagem para aplicar melhoria contínua no processo e garantir melhor produtividade.

- **Controlo de Qualidade**

Após a montagem o produto passa para uma fase de análise de possíveis defeitos, se houver defeitos é encaminhado para reparação caso contrário o produto é encaminhado para ser armazenado, o operador nesta fase toma decisões para assegurar que esteja tudo bem.

- **Retrabalho Correção das Falhas**

Caso o produto tenha um defeito e é encaminhado para a reparação, nesta etapa ocorre o que se chama de retrabalho a fim de corrigir o defeito identificado, só assim é encaminhado para análise ou controle de qualidade novamente.

- **Armazenamento**

Última fase do processo, sabe-se que a fábrica dispõe de um carro logístico, um operador é encarregado de fazer o transporte do produto acabado até ao armazém.

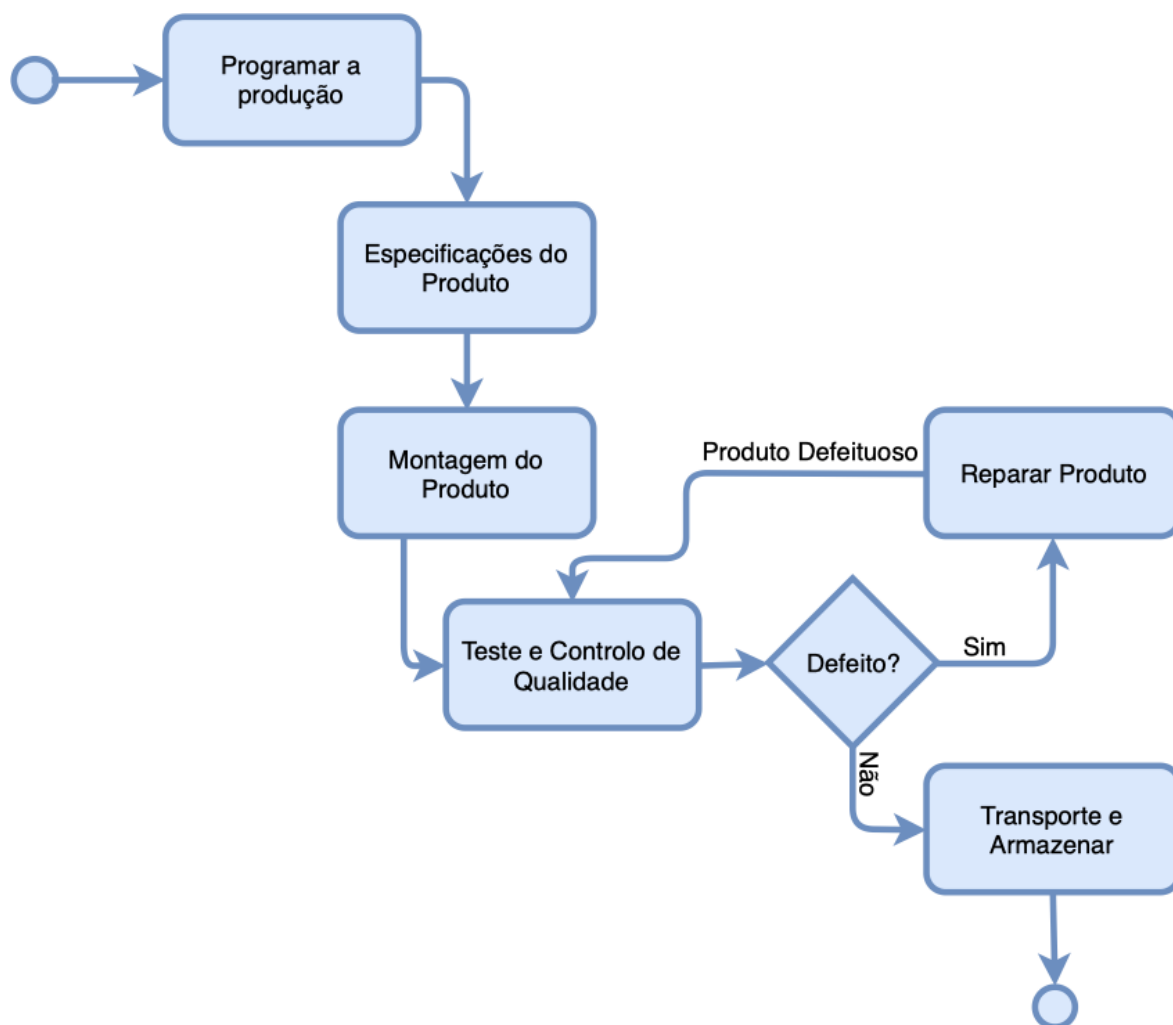


Figura 3.2 Workflow do processo

3.4.2. Descrição do Produto

O produto a ser montado é composto por 59 componentes ou peças subdivididas em manípulo, quadruplo e base, esta divisão permitirá posteriormente dividir as operações nos três postos de trabalho disponível na fábrica sendo equivalente a três operadores para cada posto ou estação de trabalho.

No que se refere as características do produto, é de salientar que 10 dentre as 49 peças são diferentes e algumas como no caso das peças; união de duas juntas do tipo J1, junta interior, exterior combinado com os seus parafusos e porcas requerem especial atenção e um processo padronizado de montagem que deve ser seguido exatamente segundo o padrão, caso contrário resultará em um produto defeituoso, retrabalho além de estender o *cycle time* de montagem.

O produto que será chamado de “talocha” em função do formato que apresenta, é um produto que não se encontra no mercado tal como já foi referido anteriormente, é apenas um produto genérico que existe na fábrica para efeitos de treinamentos e pela quantidade de peças que é composta resultará num treinamento adequado e aplicação das metodologias Lean para os operadores da instituição sendo esta a única utilidade encontrada até agora, Figura 3.3.

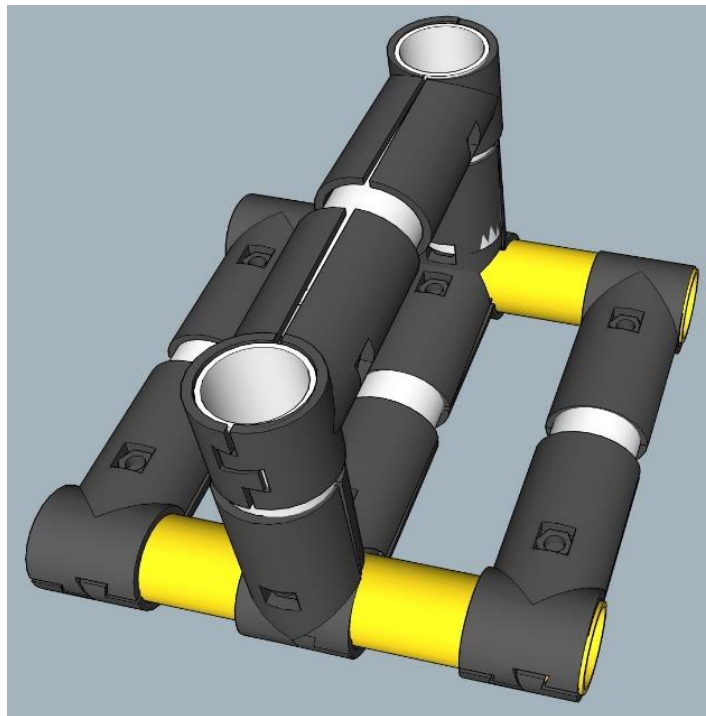


Figura 3.3 “Talocha” (baseado no produto real).

3.4.1. Estrutura do Produto

A ideia da lista de material de um produto surge como base de estruturação das peças que o compõe para um planejamento adequado das necessidades da matéria, permitindo desta forma gerenciar a sequência de montagem, quantidade de peças necessárias para cada submontagem respectivamente aos níveis, visualizar de forma ampla as etapas da sequência da montagem desde a montagem primária até ao produto acabado e organização das peças semelhantes a fim de ter uma visão geral das unidades necessária para responder uma demanda prevista e garantir mais eficiência. Esta lista é feita por meio de uma estrutura baseado nos modelos chamado *Bill of Material*, é com base nesta árvore que se obteve a sequência de montagem do presente produto, portanto a Figura 3.4 representa claramente os três níveis hierárquicos definidos para a montagem do produto. Paupitz (2000), define estrutura de um produto como a reunião, relação e a descrição das peças que compõe um dado produto, o mesmo autor ainda afirma que a estrutura quando bem-feita resulta na redução do custo de produção e redução do tempo de produção. Esta definição propiciou realização da estrutura do produto e gerar a lista de peças que a compõem bem como a ramificação dos níveis da estrutura do produto.

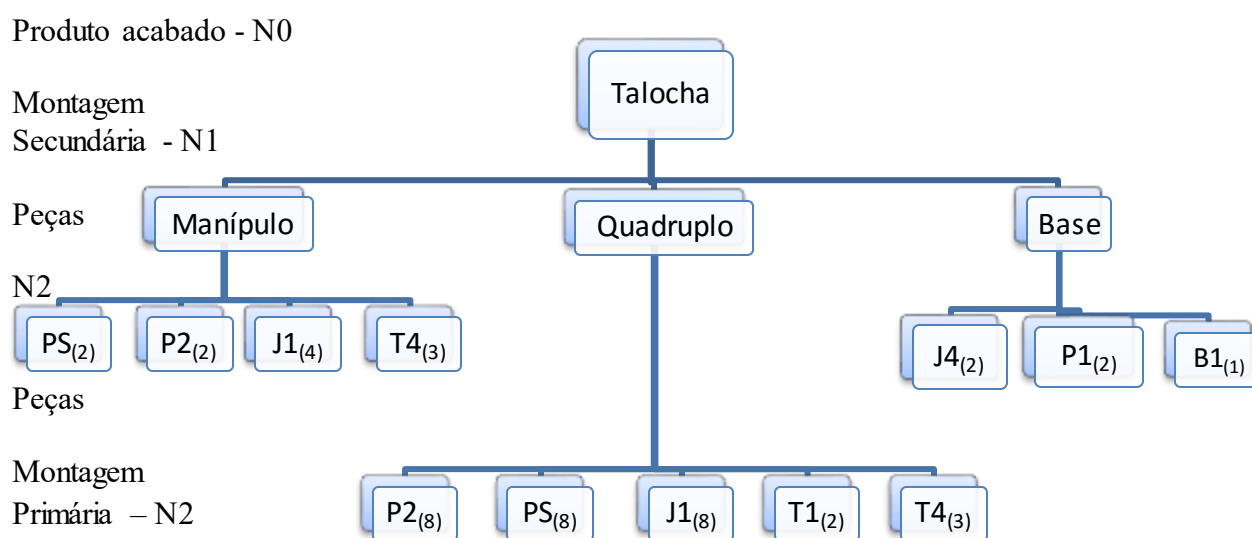


Figura 3.4 Estrutura do produto

Com a realização da estrutura do produto, já é possível descrever os níveis de produção, ordem, peças que são necessárias em primeira instância e o módulo de montagem. Igualmente para o chão de fábrica foi feito *Bill Of Material* que é mostrado na Tabela 3.3

Tabela 3.3 Níveis do produto

Níveis	Peças	Descrição	Quantidade peças	Ordem de montagem
0	Talocha	Prod. final	49	1º
1	Man. Quad. Base	Sob montagem		2º
2	PS; P2; J1; T4	T1;J3	P1;B1	3º

Na Tabela 3.4 é possível ter uma visão geral da distribuição da quantidade de peças necessária para produzir uma talocha inclusive as referências de cada peça, por conseguinte a necessidade de montagem é distribuída da seguinte forma; 11 peças para o manípulo, 33 peças para o quadruplo e 5 para a montagem da base.

Tabela 3.4 Relação das Peças

	Nomenclatura das peças										
Talocha	P2	PS	J1	J2	J3	T4	P1	J4	B1	T1	total
Manípulo	2	2	4			3					11
Quadruplo	8	8	8	2	2	3				2	33
Base							2	2	1		5
Necessidade total de peças											49

Depois de conhecer as características, a estrutura do produto, os níveis, a quantidade de peças necessárias, referência das peças e a escolha da sequência é realizada a explosão das peças que constituem o produto (Figura 3.5), onde se pode observar detalhadamente a composição do produto, identificação dos nomes das peças bem como a configuração física individual.

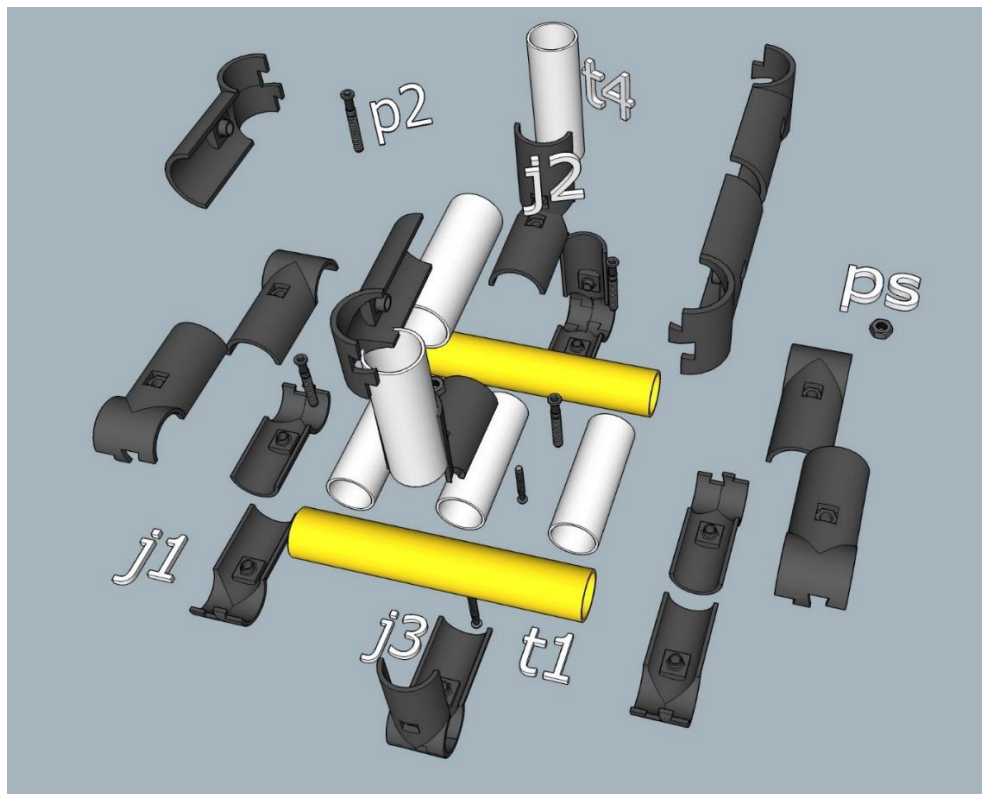


Figura 3.5 Explosão das peças do Produto

3.4.1. Seleção da Melhor Sequência de Montagem

Paupitz (2000) descreve o procedimento para a escolha de uma sequência, o autor aborda três fases; gerar, avaliar e escolher, sendo assim procurou-se seguir os procedimentos do autor para a escolha da melhor sequência de montagem, sendo assim, partindo do primeiro procedimento, a obtenção da sequência de montagem do produto foi realizada em várias etapas e com diferentes grupos nomeadamente, *professional academy*, *Lean academy*, com estes grupos formaram-se cerca de oito grupos, cada grupo formado por três a cinco operadores diante da estação de trabalho com todas as peças disponíveis para a montagem. Cada grupo desenvolveu manualmente uma sequência diferente de montagem com descrição do procedimento aplicado durante o processo. Todas as sequências geradas somaram mais de dez sequências diferentes, obviamente que tiveram tempos diferentes que variavam de 19 minutos até aos 8 minutos.

Para a padronização da melhor sequência a ser utilizada, fez-se análise das restrições, dificuldades, equilibragem de cada operação, *layout* e do fator mais importante, os tempos mínimos repetidos que cada grupo encontrou. Uma vez que o objetivo é encontrar uma sequência com mínimo de dificuldades, movimentos reduzidos e menor tempo.

Agruparam-se todas as seqüências dos grupos numa tabela para avaliação, portanto todas as seqüências foram descartadas com exceção de uma, os motivos que levaram a descartar as seqüências geradas foram: dificuldades de montagem excessiva, conexões que impedem os movimentos, dificuldades para desmontar, dificuldade na divisão das operações e tempo acima da média, isto posto encontrou-se a melhor seqüência que responde as necessidades de montagem, a seqüência escolhida e padronizada é descrita a seguir na Tabela 3.5⁶.

Tabela 3.5 Fluxo do processo sem gabarito

N.º	Passos do Processo	Tempo		Descrição
		Médio	Min/Seg	
1	Alinhar 2xPS sobre a área de trabalho	00:08		Montagem do Manipulo: como na fotografia-lado 1, ver padrão na bacada de trabalho
2	Colocar 2xJ1 por cima de PS	00:10		Alinhar centrado pelas guias
5	Colocar 2xP2 em J1	00:20		Aperto ligeiro do PS com a mão dominante sem a ferramenta CS
	Tempo total do processo de todas operações	0:06:19		

O fluxo do processo da tabela 3.4 foi transferido para o diagrama de dependência como mostra a figura 3.7 pois é significativo que se saiba o nível de dependência entre as peças para possibilitar um planejamento das atividades, sequenciar o fornecimento de peças e garantir o mínimo de erros.

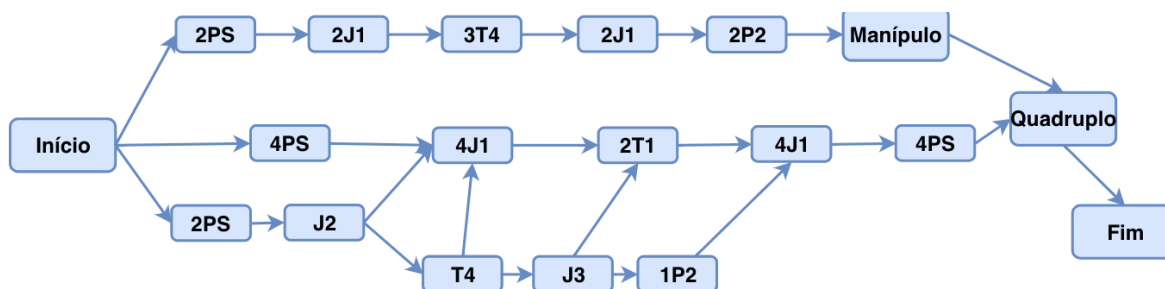


Figura 3.6 Diagrama de dependência sem uso de Gabarito

3.5. Tempos de Montagem

Quanto aos tempos de montagem que é o fator de extrema importância para o processo, levou-se em consideração os seguintes cálculos; *Cycle time*, *takt time* para responder uma certa demanda, *lead time*, identificação de gaps no processo, distribuição das

⁶ Confrontar Apêndice A para observar a descrição completa do fluxo.

operações para que a equilibragem da linha de produção seja feita levando em consideração os parâmetros citados.

A tiragem dos tempos foi feito diretamente embora com a utilização de uma câmara para uma análise detalhada do término de cada operação, as operações foram distribuídas em checkpoint que é representado pelo agrupamento de um conjunto de peças e fixá-las. O Figura 3.7 mostra o total de 25 montagens realizadas em testes e deixa claro a curva de aprendizagem que ao fim de várias montagens tende a se estabilizar, relativamente a obtenção dos dados do gráfico encontram-se organizados no anexo com os respectivos cálculos.

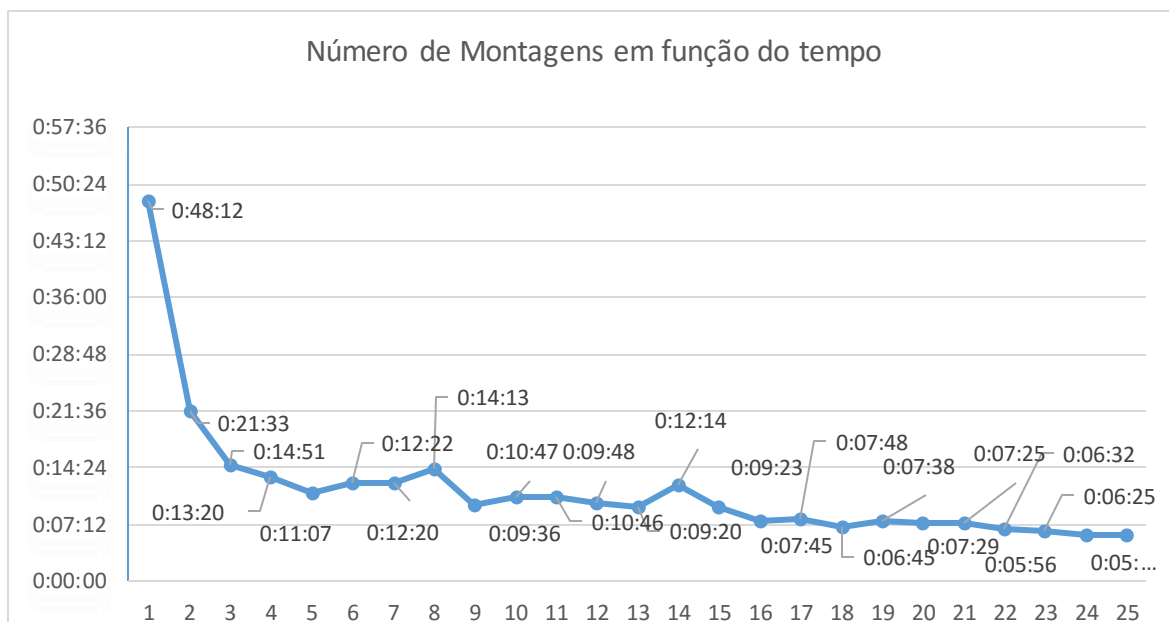


Figura 3.7 Cycle time

É preferível definir primeiro a capacidade de produção, visto que já temos a média do tempo do ciclo em disposição, é sabido que o tempo de cliço é o somatório de todas operações envolvidas no processo de fabricação de um produto ou tempo de produção entre duas unidades, deste modo, já é possível escrever a equação para a capacidade de produção, a equação será dada pela divisão do tempo disponível pelo tempo de ciclo. Partindo do pressuposto de que a jornada de trabalho padrão diário é de 8 horas sendo equivalente a 480 minutos. Também se sabe que de acordo com os tempos dos testes, o *cycle time* médio é de 6 min. e 19 seg. logo a capacidade será:

$$Cap. Produção = \frac{T Disponível}{Cycle Time} \quad (3.1)$$

$$Cap. Produção = \frac{480min}{6.26min} = 76 \text{ Talochas por dia}$$

Obviamente não será calculado o número de estações porque a disponibilidade que temos na fábrica é de três estações. Porém é importante destacar que é possível definir o número de postos necessários, a equação é dada em função do somatório das operações da montagem a divisão pelo *cycle time*: M-montagem; I-número de montagem; T-tempo.

$$M = \sum_{i=1}^n Ti \quad (3.2)$$

$$N^{\circ} P. trabalho = \frac{\sum_{i=1}^n Ti}{Cycle\ time} \quad (3.3)$$

Os cálculos mostram que para atender a demanda de 300 unidades é necessário que o tempo de ciclo seja de 4.8 min. Surge então a necessidade de melhorar o processo para satisfazer a demanda visto que a disponibilidade é de 6.26 min e produzimos apenas 230 unidades, obrigatoriamente é necessário que se reduza este tempo para 4.8 min para satisfazer a demanda. O princípio da melhoria do tempo parte da ideia de utilizar um gabari no processo de montagem. É de realçar que os cálculos realizados a cima podem ser prematuros, porque num ambiente realista é necessário levar em consideração e subtrair os tempos de intervalo e almoço dos operadores que tecnicamente é chamado de *Takt Time*⁷.

3.6. Industrialização do Processo Proposta de Melhoria

O objetivo desta seção é mostrar as diferenças do processo de produção com aplicação de algumas metodologias Lean a fim de melhorar continuamente. Durante o processo de montagem analisou-se os primeiros dados do *cycle time* identificou-se alguns problemas referentes a variabilidade do processo e a curva de aprendizagem, por isso foi proposto o desenvolvimento do gabari. Com base na aplicação das metodologias *Kaizen*, PDCA e *Poka Yoke*. Segundo as análises as melhorias propostas poderão reduzir os problemas de qualidade, melhorar o *cycle time*, *tack time* a fim de responder a demanda

⁷ Os cálculos do *Takt time* encontram-se no apêndice B.

definida, e permitirá que o operador tenha certa autonomia com uma produção flexível associada a minimização de vários desperdícios tais como; movimentos desnecessários, defeitos, processos inadequados e espera.

3.6.1. Desenvolvimento do Gabarito

O gabari foi projetado primeiramente em 2D, após a obtenção dos dados referente as dimensões⁸ das peças por meio de um paquímetro, porem os dados de medidas anotados em um esboço tomaram forma através do *software Sketchup*, após inúmeras tentativas com intuito de alcançar as posições exatas das peças no gabari foi possível passar o projeto em 2D para 3D como é identificado na Figura 3.8.

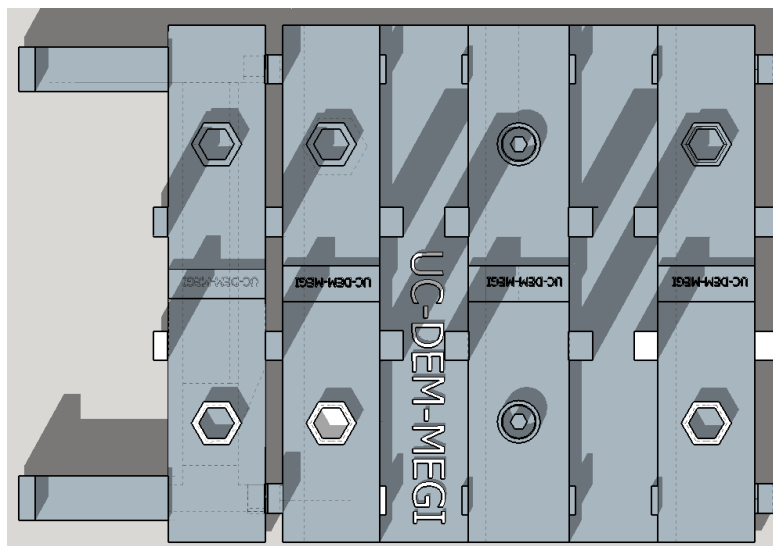


Figura 3.8 Desenho do Gabarito

Os testes do tamanho real do gabari tiveram início a partir do momento que se projetou o produto em 3D com as dimensões exatas de maneiras a reduzir os riscos de imprimir e se deparar com erros contundentes e gastar filamento desnecessário, pois que o objetivo é preservar o filamento da impressora 3D uma vez que pelo tamanho do gabari a sua impressão em 3D gasta mais de 50 metros de filamento e mais de 18 horas até terminar a impressão, portanto para minimizar a margem de erro da impressão projetou-se a talocha

⁸ Consulte os anexos caso as dimensões sejam necessárias.

para testes de medida como se pode ver na Figura 3.9, outros testes podem ser vistos no apêndice A.

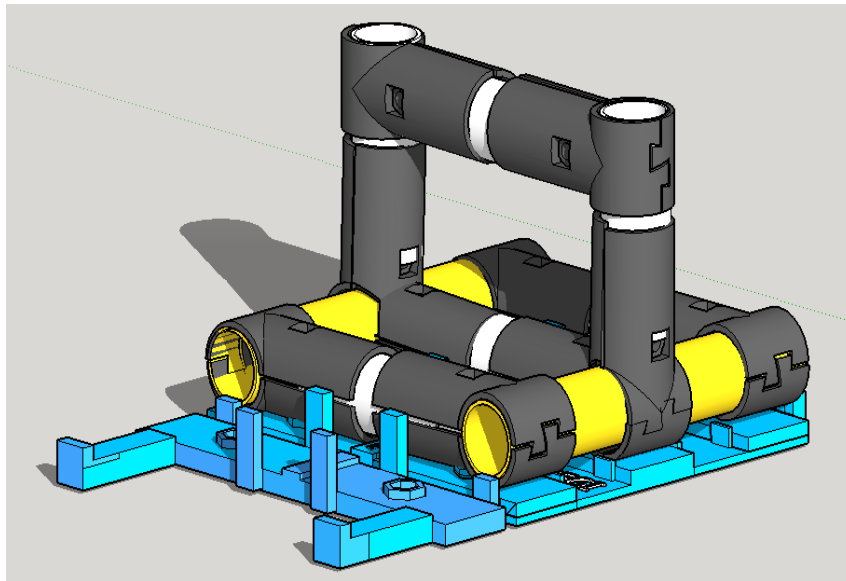


Figura 3.9 Teste da Projeção do gabarito anexado ao produto

3.6.1.1. Implicações da Impressão 3D

A execução do gabari contou com 10 versões para testes físicos além dos testes virtuais em 3D incluindo a impressão do modelo final, sendo que, mesmo com todas as precauções tomadas antes da impressão, alguns erros são inevitáveis, visto que nem sempre a impressão corre como desejado, dado que se está a trabalhar na escalabilidade em milímetros e um milímetro a mais ou a menos é capaz de comprometer o gabari, portanto a precisão era de extrema importância, alguns testes são mostrados nas Figura 3.10. Um outro parâmetro a ser levado em consideração é o tempo de impressão, pois que a versão final do gabarito levou cerca de 34h para terminar a impressão como mostra a Figura 3.11, à vista disso, o somatório do tempo de todas impressões alcançou mais de 180h.

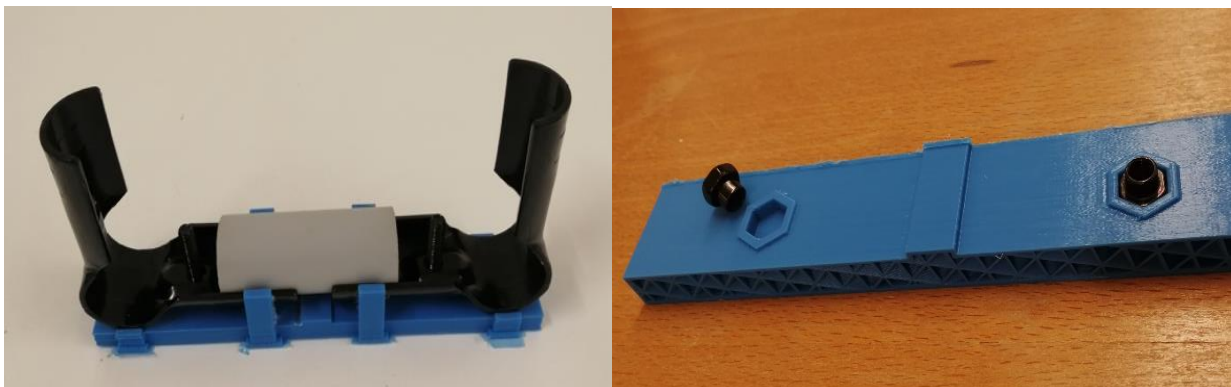


Figura 3.10 Testes após a impressão

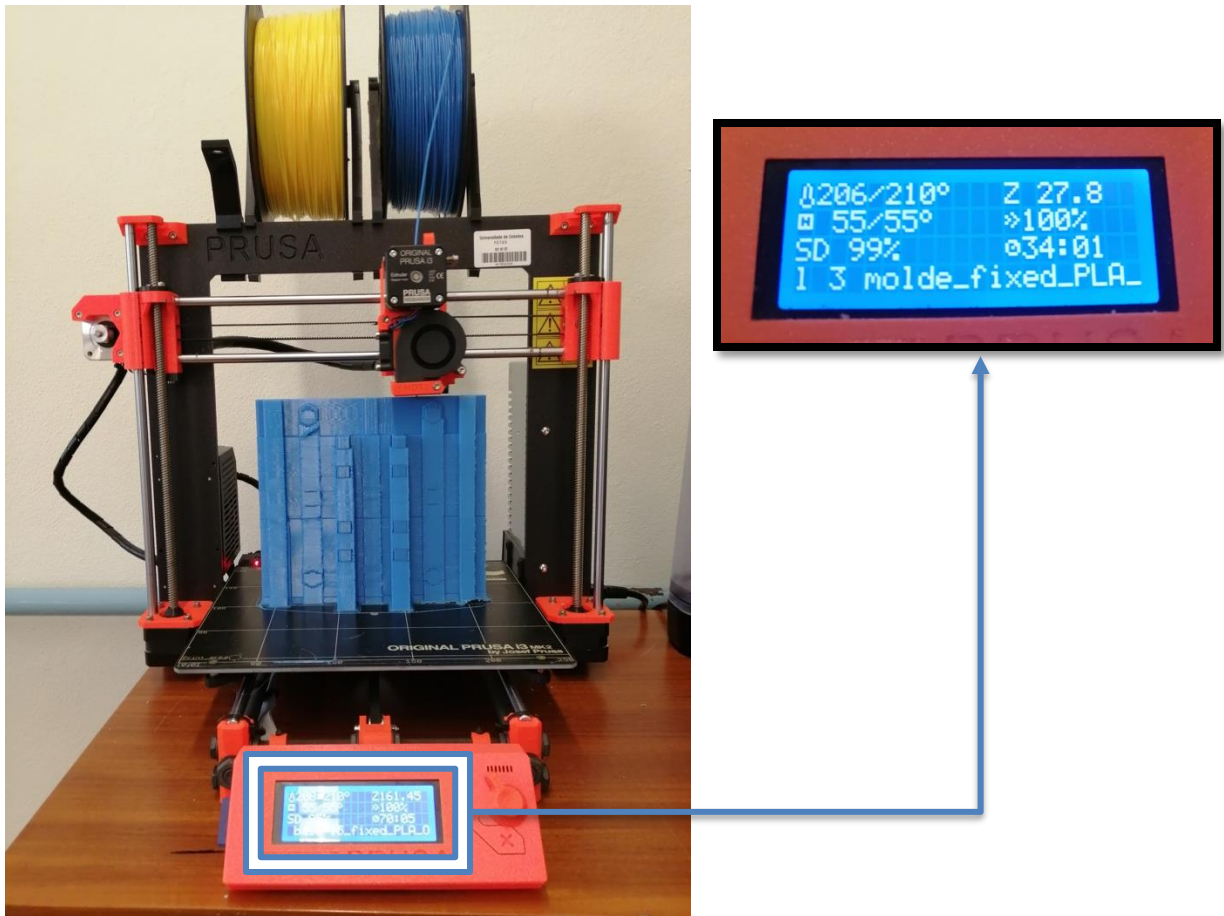


Figura 3.11 Tempo da impressão

3.6.2. Seleção da Sequência de Montagem com uso do Gabarito

Com o desenvolvimento do gabarito deu a possibilidade de aplicar a metodologia Kaizen, assim houve a necessidade de explorar novas formas de montagem com objetivo de melhorar os tempos da sequência já estudada, portanto com o gabarito obteve-se cinco sequências diferentes de montagem do produto, novamente Agrupou-se as sequências numa tabela para avaliação, a fim de se escolher a melhor dentre as cinco, portanto a exclusão envolveu os seguintes critérios; facilidade de montagem agrupada, capacidade de separação das submontagem, acesso aos parafusos e porcas, movimentos reduzidos, facilidade de manobrar as peças com a mão dominante, facilidade de conexão entre as peças, facilidade de utilização das ferramentas (chaves de fenda, sextavada, parafusadora) e o tempo mínimo

de ciclo repetido durante os testes⁹. Os pressupostos foram alcançados e consequentemente escolheu-se a sequência descrita na Tabela 3.6, consultar apêndice A para descrição completa.

Tabela 3.6 Fluxo de montagem com gabarito.

N.º	PASSOS DO PROCESSO	Atividades do Processo					Tempo	Descrição
		Processar/ Executar	Transportar/ Movimentar	Controlar/ Verificar	Esperar/ Aguardar	Armazenar/ Arquivar	Médio Min/Seg	
1	Colocar e alinhar PS no gabari	○	➔	□	D	▽	00:12	Montagem do quadruplo, colocar exatamente no orifício
2	Colocar P2 alinhado com os orifícios do gabari	○	➔	□	D	▽	00:02	alinhar centrado pelas guias e fixar
27	Tempo total do processo de todas operações	○	➔	□	D	▽	03:26	

A análise também contou com o diagrama de precedências para mostrar as relações de dependência das conexões entre as peças bem como a sequência de atividades do processo, assim obteve-se uma visão geral que possibilitará a subdivisão das tarefas nos postos de trabalho e delinear as instruções para os operadores. Diferente do diagrama mostrado na Figura 3.12 onde não havia a montagem da base além de ser pouco eficiente. A subdivisão das tarefas serão realizada em três fases como se pode observar.

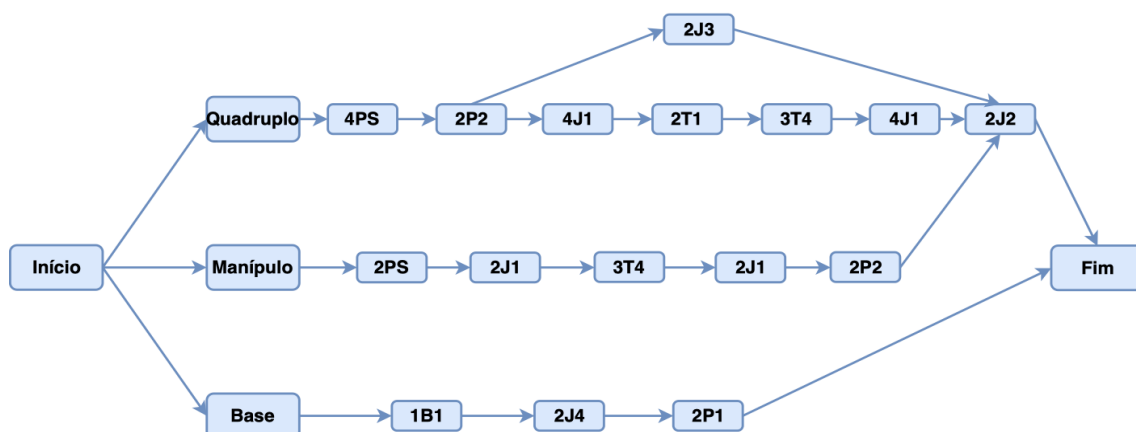


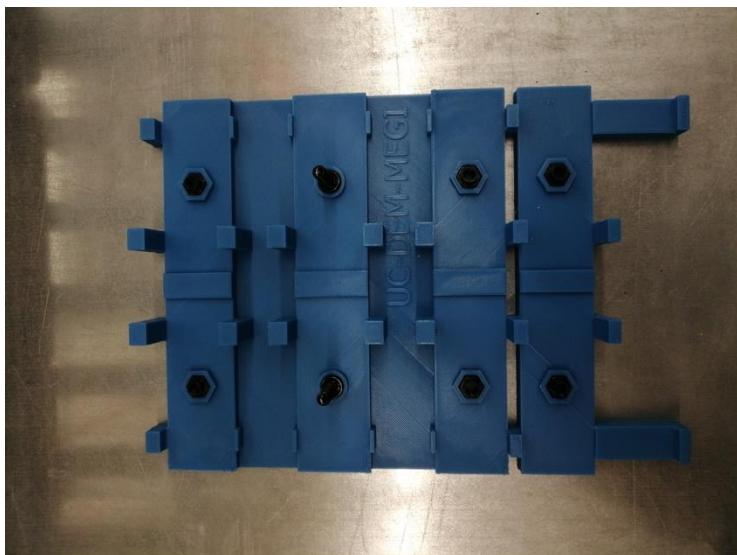
Figura 3.12 Diagrama de dependência do produto

⁹ Consulte a tabela dos testes no apêndice A caso seja necessário.

3.7. Procedimentos da Montagem

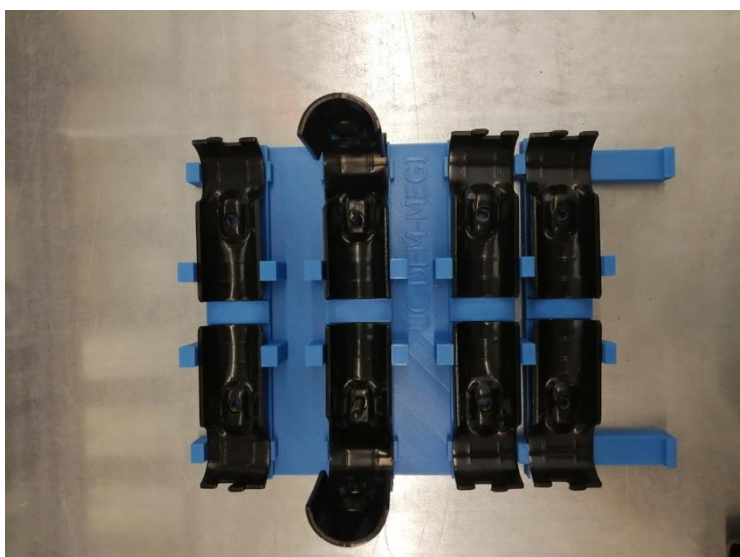
Para que a montagem seja feita corretamente de acordo com os estudos realizados são apresentados em pormenor os procedimentos com auxílio de exposição de imagens e descrição dos passos. É importante deixar claro que dentre as várias formas existentes de montagem de um produto, escolheu-se a montagem manual em conformidade com as características do produto e dos equipamentos que dispõe a linha de montagem nos postos de trabalho da fábrica de aprendizagem.

As operações foram distribuídas em sete passos, na qual cada passo é composto por várias tarefas que cumprem com os requisitos de redução do tempo de montagem, redução dos movimentos por parte do operador e a variabilidade das operações.



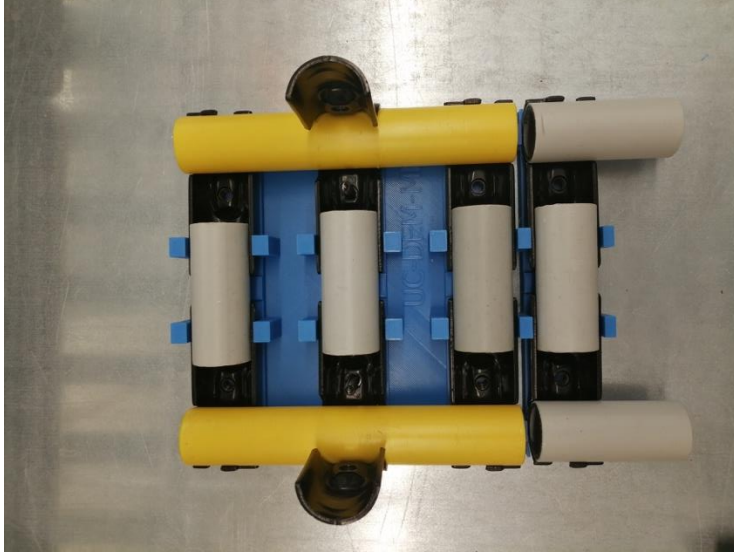
1º Passo: inclui afetação das operações (1;2).

Posicionar o gabarito sobre a bancada, colocar quatro PS e dois P2 nos respectivos encaixes do gabarito.



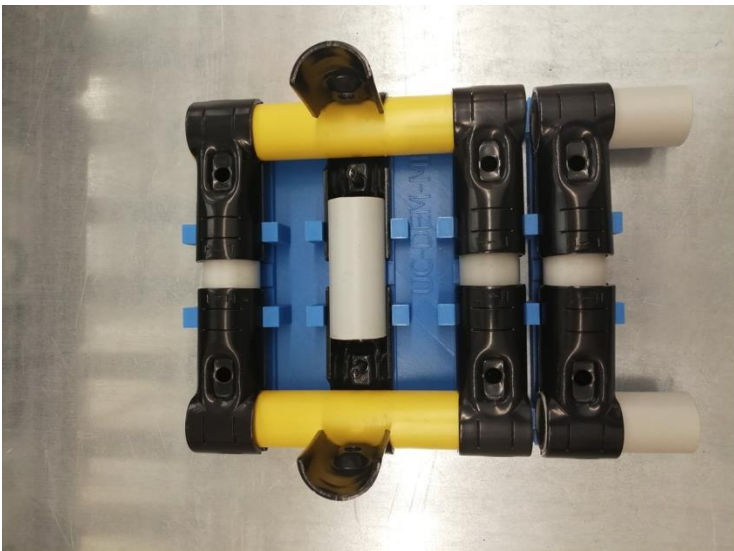
2º Passo: inclui afetação das operações (3;4).

Posto os parafusos e porcas em posição, sobre estes é colocado quatro J1 e dois J3 alinhado com os batentes verticais do gabarito. Atenção! É exigido que o J3 encaixe nos quatros batentes de dois centímetros.



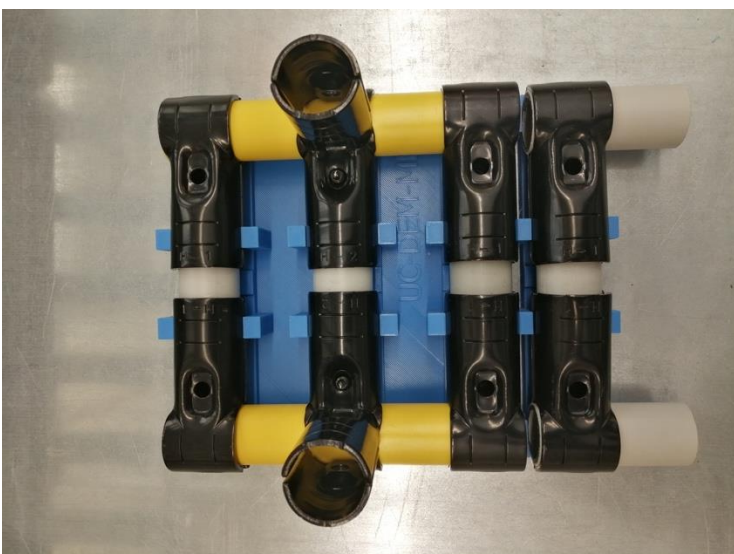
3º Passo: inclui afetação das operações (5;6;15).

Colocar em posição dois T1 e seis T4. Atenção! É nesta etapa que normalmente começam os problemas de qualidade, por esta razão certifique-se de alinhar com as extremidades.



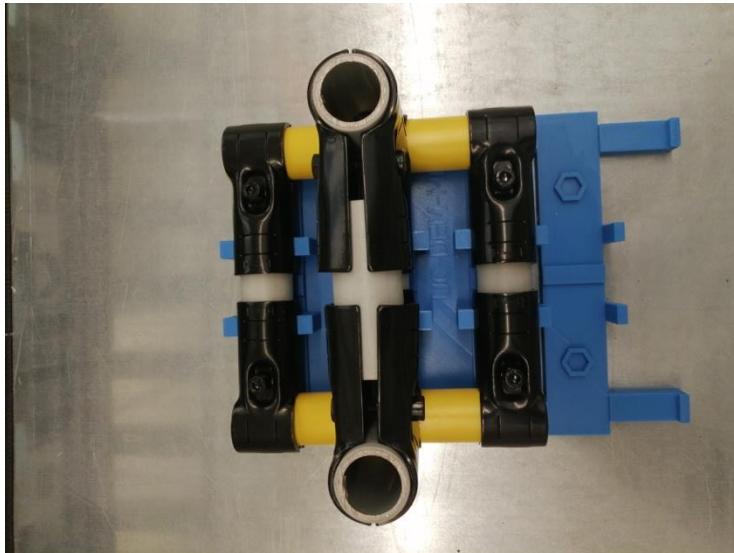
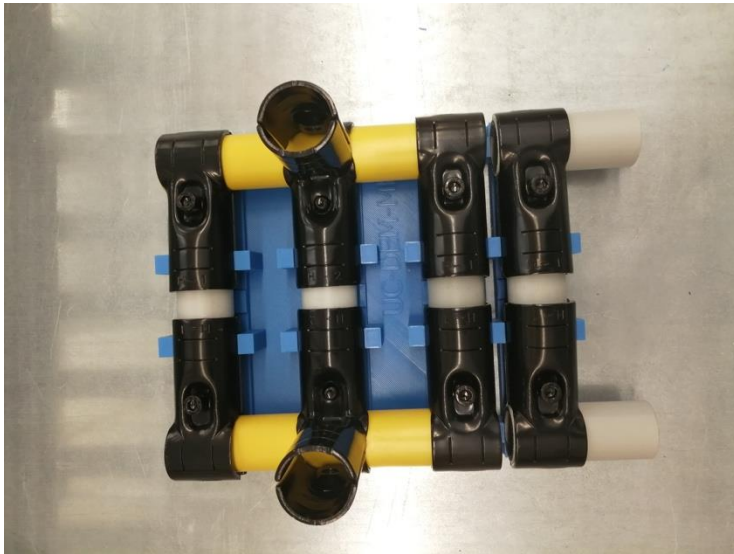
4º Passo: inclui afetação das operações (7;14;16).

Colocar quatro J1 sobre T1 e T4. Atenção! Não deixar folga entre a união das peças J1.



5º Passo: inclui afetação das operações (9).

Posicionar J2 entre o J3, T2 e o T1.



6º Passo: inclui afetação das tarefas (8;10;11;13;17).

Colocar seis PS e fazer torque em todos eles até fixar com as porcas de baixo, usa parafusadora para o aperto final. Colocar dois P2 em J3 e fixar com duas porcas sem aperto final.

7º Passo: inclui afetação das tarefas (11;18;19;20).

Unir o manípulo com o quadruplo, usa a parafusadora para o aperto final.

3.8. Equilibragem da Linha de Montagem

A equilibragem da linha consiste num conjunto de estações de trabalho organizadas sequencialmente em detrimento da divisão equilibrada das operações de trabalho (Assis, 2017). O problema do balanceamento de uma linha de produção é gerir as operações e distribuir as tarefas nas estações de trabalho para satisfazer o tempo de ciclo, otimizar o número de estações de trabalho, otimizar o desempenho da produção levando em consideração o diagrama de precedência das operações, (Lolli et, al., 2017). Caso não seja feito o balanceamento da linha os tempos ociosos tendem a aumentar, a carga de trabalho é comprometida dando surgimento a certos desperdícios nomeadamente, sobrecarga e *stock*

ou buffers excessivos entre estações de trabalho na mesma linha. O problema da linha é solucionado com a atribuição das operações em tempos aproximados entre os postos levando em consideração a complexidade das operações, e as tarefas precedentes. Para que esta ação seja aplicada é necessário definir o número de postos de trabalho e subsequentemente delinear o *layout* que é apresentado no subtema que se segue.

3.8.1. Layout da Linha de Montagem

O balanceamento da linha de produção depende da configuração e da organização dos postos de trabalho, teremos então três operadores como se observa na Figura 3.13, os mesmos terão tarefas distribuídas de forma equilibrada. O objetivo é alcançar um fluxo flexível, contínuo e com um ritmo de trabalho equilibrado. A junção dos postos de trabalho deve-se a necessidade de transferir um conjunto de operações realizada para outra estação, a redução de movimentos desnecessários, a estratégia de trabalho garante que não haverá *buffers* entre os postos para promover a partilha de experiencia, interaguda e comunicação fluida entre os operadores.

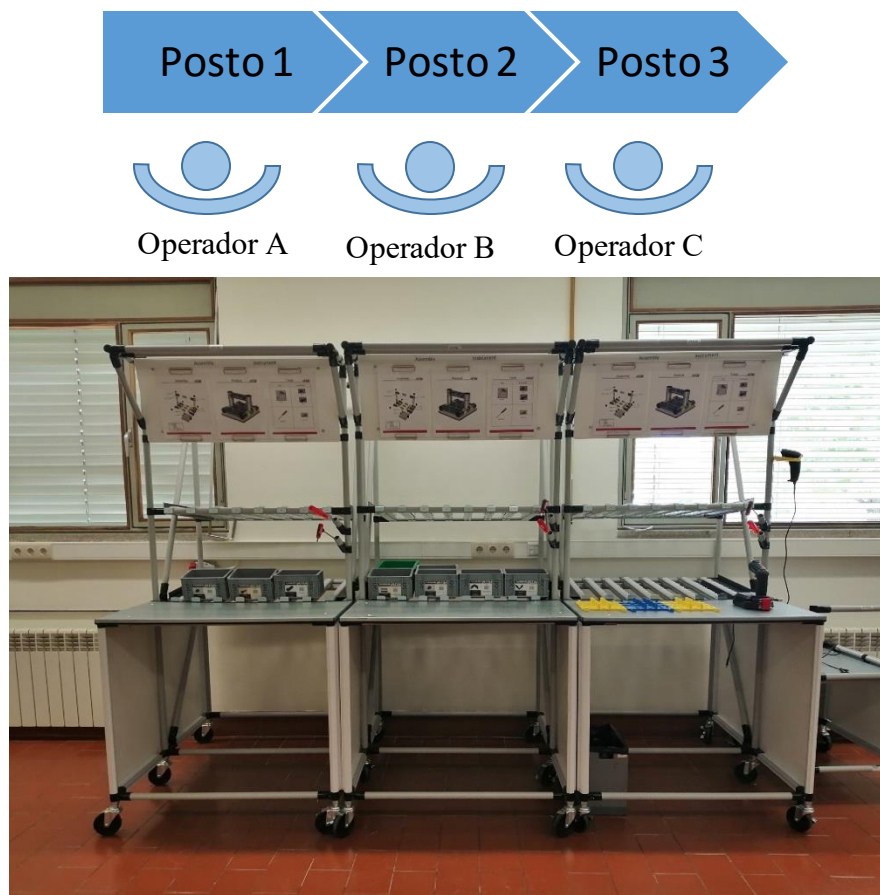


Figura 3.13 Layout da linha de montagem

3.8.1. Heurística na Linha de Montagem

O balanceamento foi realizado com heurística dos pesos envolvendo três iterações, neste sentido considerou-se as tarefas com maior tempo e as tarefas precedentes como é mostrado na Tabela 3.7, outras questões que foram consideradas no processo do balanceamento da linha foram as operações que são mais complexas do que outras, algumas levam mais tempo, outras tarefas requerem experiência, estas diferenças geram gargalo e tempo ocioso na linha. Levando em consideração estes pressupostos e o diagrama de precedência é realizado o balanceamento da linha partindo pela divisão das tarefas nos postos.

Tabela 3.7 Balanceamento da linha

00:09 iteração 1				00:09 iteração 2				00:09 iteração 3			
00:03 Melhor iteração				00:03				00:03			
00:12	linha	tempo	tarefas	00:12	linha	tempo	tarefas	00:12	linha	tempo	tarefas
00:03	posto1	00:01:19	1;13;2;3;4;5;6;7;16;9;10;11;14	00:03	posto1	00:01:27	1;13;2;3;4;5;15;6;7	00:03	posto1	00:01:27	1;13;2;3;4;5;15;6;7
00:09				00:09				00:09			
00:55	posto 2	00:01:21	8;17	00:55	posto 2	00:01:14	16;17;9;10;11;8	00:55	posto 2	00:01:16	16;17;9;10;11;8;12
00:02				00:02				00:02			
00:03	posto 3	00:01:16	14;15;18;19;20	00:03	posto 3	00:01:16	12;14;18;19;20	00:03	posto 3	00:01:14	14;18;19;20
00:08		00:03:57	t.min	00:08		00:03:56		00:08		00:03:56	
00:02	t.Seg	3,48	209	00:02	T. Idle		Tempo de op.	00:02	T. Idle		Tempo de op.
00:03	T. Idle		Tempo de op.	00:03		1,45	87	00:03		1,45	87
00:03		1,32	79	00:03		-0,22	1,23	00:03		-0,18	1,27
00:03	0,033	1,35	81	00:03	0,03	1,27	76	00:03	-0,03	1,23	74
00:05	-0,083	1,27	76	00:05	-13	-104	237	00:05	-11	-88	237
00:26	2	16	236	00:26	2	16	-11	00:26	-2	-16	-13
00:15	-5	-40	-3	00:15	122	176,9	-1,73	00:15	122	176,9	-1,73
00:28	122	160,63	-0,4	00:28	Pt1	150,47	175,17	00:28	Pt1	154,53	152,8
00:28	Pt1	152,77	153,17	00:28	Pt2	154,53	148,73	00:28	Pt2	150,47	148,73
03:56	Pt2	104,37	161,03	03:56	Pt3	481,9	152,8	03:56	Pt3	481,9	148,73
	Pt3	417,77	103,97				474,97				448,53
3,93	Udd		418,17	pt1	1,45			pt1	1,45		
480	366	-24	394,17	pt2	1,02	-88	386,97	pt2	1,08	-104	344,53
pt1	1,32			pt3	1,3			pt3	1,2		
pt2	1,32			Work time	3,77	382,30		Work time	3,73	385,71	
pt3	1,18		377,29	Unidades		294,3		Unidades		281,7	
Work time	3,82	Unidades	353								

Após a análise das três iterações identificou-se desperdício de espera em todas as iterações, este desperdício está relacionado ao tempo que um operador aguarda o operador antecedente terminar a tarefa. No caso da primeira iteração observa-se que o terceiro operador espera cerca de 3 segundos até que o operador um e dois terminem a tarefa, isto resulta em desperdício de 24 minutos em 8h de trabalho dando a possibilidade de produzir 353 unidades.

Na segunda iteração observa-se que o desperdício aumenta, sendo que o segundo operador espera 11 segundos até que o operador um termina a tarefa, isto resulta em desperdício de 88 minutos em 8h de trabalho produzindo então 294 unidades.

A terceira iteração é classificada como a pior solução já encontrada porque o desperdício é maior em termos de tempo de ociosidade uma vez que o segundo operador espera 13 segundos toda vez que uma peça começa a ser produzida, o somatório deste tempo em 8h de trabalho é de 103 minutos, este desperdício resulta na produção de 281 unidades. A análise feita permitiu escolher a primeira iteração, classificada como a melhor solução balanceada da linha de produção, segue-se a Figura 3.14 a par da primeira iteração.

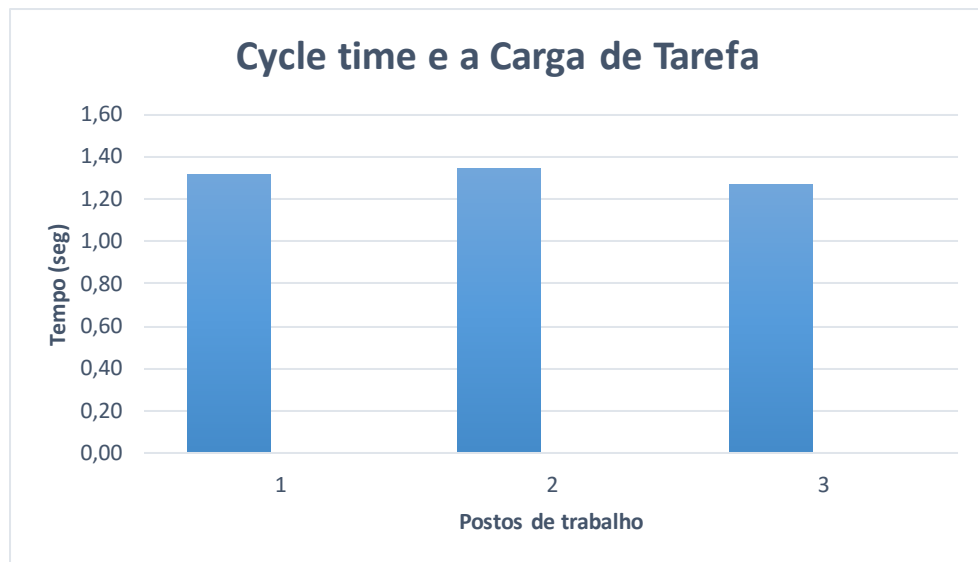


Figura 3.14 Distribuição das cargas nos postos de trabalho

Com os cálculos é possível identificar alguns indicadores de desempenho relacionado com o *cycle time*, tempos ociosos e a capacidade. A tabela 3.6 mostra que a tarefa 8 é a que leva mais tempo no processo, porém leva 55 segundos é a tarefa que cria gargalo no sistema e pela precedência é sempre realizada pelo operador dois, ou seja, no posto número dois. Este gargalo que resulta em desperdício de espera é quase inevitável a menos que seja alterado a sequência das operações com um outro diagrama de precedência, mas se esta possibilidade ocorrer o *cycle time* também poderá alterar com tendências de aumentar visto que já se obteve mais de 19 procedimentos de montagem do produto e até o momento esta sequência de montagem é o que apresenta o menor *cycle time*. Em termos de precedência esta é a melhor, embora que não permite um balanceamento totalmente equilibrado.

3.8.2. Linha de Montagem em Série

Além dos cálculos foi desenvolvido dois modelos simulados com aplicação do *software* Simio, um modelo com linha de montagem em série e um outro modelo em paralelo. As tarefas foram distribuídas na mesma proporção dos cálculos realizados, o

objetivo da simulação é a obtenção de resultados mais precisos, comprovar a veracidade dos cálculos dos tempos de espera, quantidade das unidades produzidas e perceber se a alteração do *layout* pode influenciar o fluxo da produção. Nesta linha em série cada operação é realizada segundo a ordem de precedência distribuído em cada posto de trabalho, Figura 3.15.

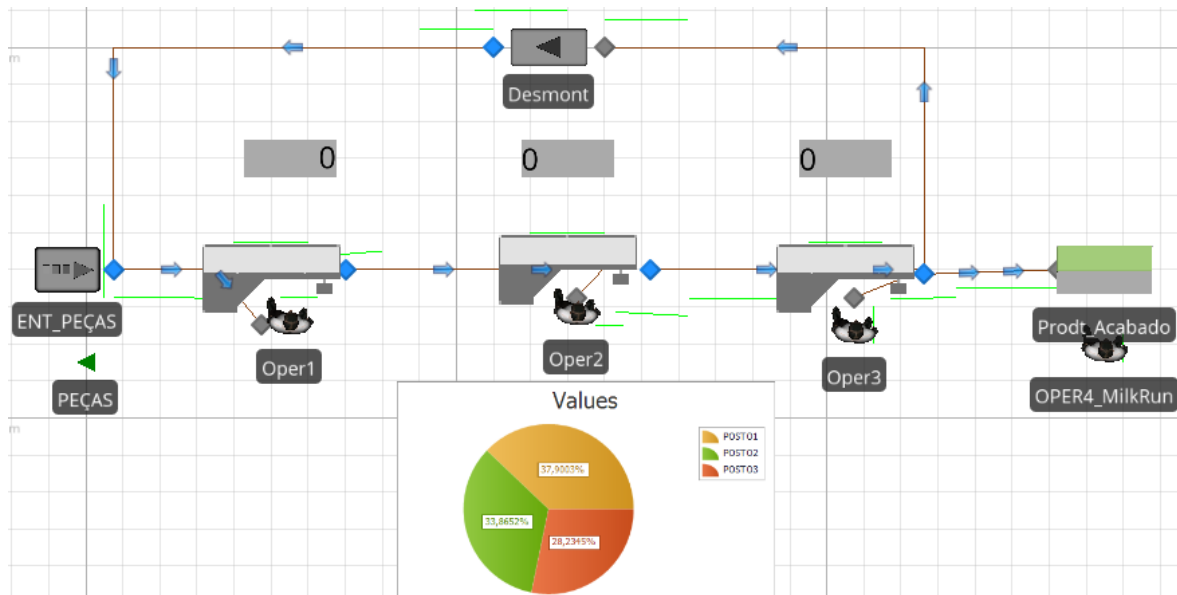


Figura 3.15 Modelo simplificado da simulação da linha de produção

O modelo contou com alguns processos (Figura 3.16) que efetivamente tem a seguinte restrição; um operador somente despacha a tarefa executada e procede para a próxima tarefa se o operador sucessor estiver livre, caso esteja ocupado deverá aguardar pois o objetivo é termos um fluxo contínuo e sem *buffer* intermédio entre os postos de trabalho.

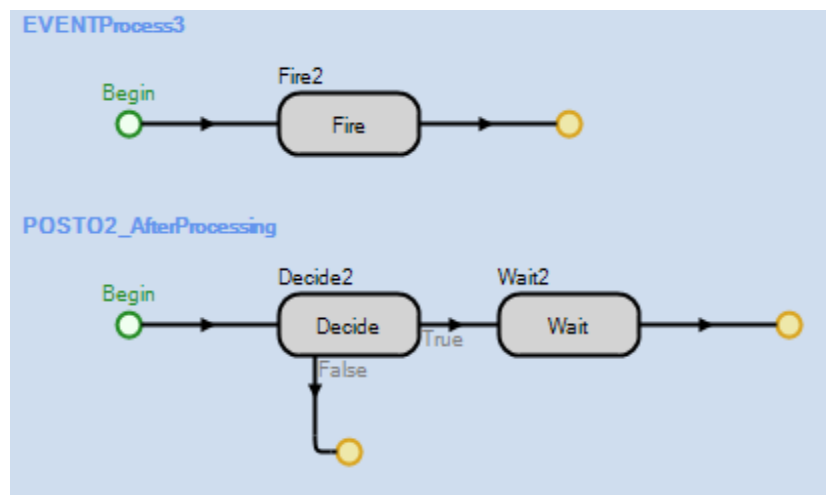


Figura 3.16 Processo decisor do operador

- **Resultados da simulação**

A simulação foi realizada num período de 8h de trabalho normal com 30 *experiments*. Após a simulação observou-se que de acordo com a previsão dos cálculos a simulação apresenta dados iguais aos cálculos, assim sendo pode se afirmar que é possível produzir 353 unidades tal como mostra o resultado final da simulação sem variabilidade no processo, a diferença das unidades em cada posto de trabalho deve-se ao tempo ocioso dos postos. É importante realçar que se obteve resultados com variabilidade. Portanto aplicou-se variabilidade referente aos produtos defeituosos que são inerentes ao desempenho da produção, estes por sua vez são retrabalhados, sendo assim no final da simulação obteve-se menos 33 unidades totalizando apenas 320 unidades.

Operador 1 posto 1

Capacity	ScheduledUtilization	Percent	99,9666
	UnitsAllocated	Total	366,0000
	UnitsScheduled	Average	1,0000
		Maximum	1,0000
	UnitsUtilized	Average	0,9997
		Maximum	1,0000
ResourceState	TimeProcessing	Average (Hou...	7,9973
		Occurrences	1,0000
		Percent	99,9666
		Total (Hours)	7,9973

Operador 2 posto 2

Capacity	ScheduledUtilization	Percent	99,6659
	UnitsAllocated	Total	355,0000
	UnitsScheduled	Average	1,0000
		Maximum	1,0000
	UnitsUtilized	Average	0,9967
		Maximum	1,0000
ResourceState	TimeProcessing	Average (Hou...	7,9733
		Occurrences	1,0000
		Percent	99,6659
		Total (Hours)	7,9733

Operador 3 posto 3

Capacity	ScheduledUtilization	Percent	93,2747
	UnitsAllocated	Total	354,0000
	UnitsScheduled	Average	1,0000
		Maximum	1,0000
	UnitsUtilized	Average	0,9327
		Maximum	1,0000
ResourceState	TimeProcessing	Average (Hou...	0,0211
		Occurrences	354,0000
		Percent	93,2747
		Total (Hours)	7,4620

Resultado final

		Throughput	NumberEntered	Total	354,0000
			NumberExited	Total	353,0000
Prodt_Acabado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hours)	2,9703
				Maximum (Hours)	7,1767
				Minimum (Hours)	0,0743
				Observations	320,0000
				InputBuffer	Throughput
			NumberExited	Total	320,0000

3.8.3. Linha de Montagem Paralela

Com os mesmos pressupostos e as mesmas tarefas sucedeu a reconfiguração do *layout*, neste caso não houve distribuição das operações nos postos, os operadores têm os mesmos tempos de produção, assim sendo cada operador tem a responsabilidade de montar um produto, sabe-se que o tempo médio de montagem de um produto e em cada 3.933 minutos sai um produto acabado, Figura 3.17.

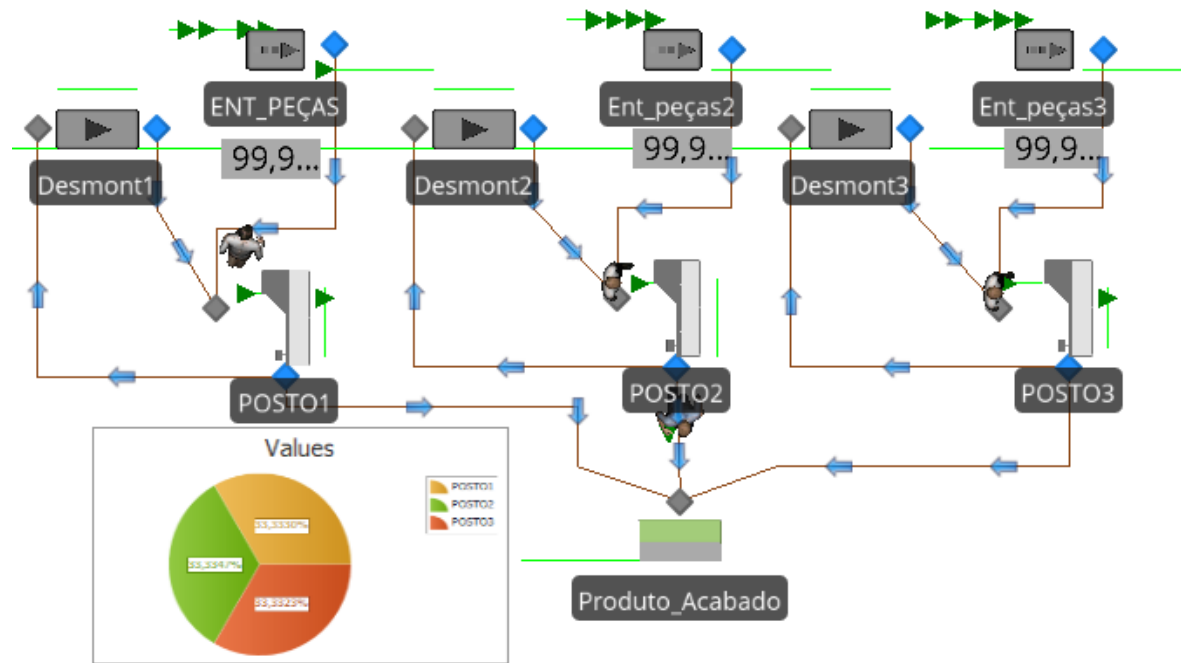


Figura 3.17 Linha de montagem com postos de trabalho paralelos.

Resultados da simulação

A simulação correu durante 8h de trabalho, ao analisar os dados foi possível perceber que os três operadores nos respetivos postos trabalham na capacidade máxima sem desequilíbrio entre eles e sem tempo ocioso, isto resulta na produção de 122 unidades previsto pelos cálculos da heurística e os mesmo resultados são apresentados por meio da simulação, observa-se que o resultado final é de 364, ou seja menos duas unidades, isto acontece porque existe apenas um operador que faz o armazenamento do produto acabado e o tempo da simulação termina exatamente no instante em que existem operações em curso. Estes resultados são referentes a um modelo sem variabilidade, porém houve a necessidade de aplicar algumas variabilidades no processo para perceber o comportamento das operações em um ambiente real. Portanto aplicou-se variabilidade referente aos produtos defeituosos que necessariamente são desmontados e isto está associado com tempo e retrabalho, sendo assim no final da simulação obteve-se menos 14 unidades perfazendo apenas 350 unidades.

Operador 1 posto 1

Processing	Content	NumberInStation	Average	0,9998
			Maximum	1,0000
	HoldingTime	TimeInStation	Average (Hours)	0,0656
			Maximum (Hours)	0,0656
			Minimum (Hours)	0,0656
	Throughput	NumberEntered	Total	123,0000
		NumberExited	Total	122,0000

Operador 2 posto 2

Processing	Content	NumberInStation	Average	0,9998
			Maximum	1,0000
	HoldingTime	TimeInStation	Average (Hours)	0,0656
			Maximum (Hours)	0,0656
			Minimum (Hours)	0,0656
	Throughput	NumberEntered	Total	123,0000
		NumberExited	Total	122,0000

Operador 3 posto 3

Processing	Content	NumberInStation	Average	0,9998
			Maximum	1,0000
	HoldingTime	TimeInStation	Average (Hours)	0,0656
			Maximum (Hours)	0,0656
			Minimum (Hours)	0,0656
	Throughput	NumberEntered	Total	123,0000
		NumberExited	Total	122,0000

Resultado final sem variabilidade

Produto_Acabado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Average (Hours)	3,7386
				Maximum (Hours)	7,4567
				Minimum (Hours)	0,0675
				Observations	364,0000
	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	364,0000
			NumberExited	Total	364,0000

Resultado final com variabilidade

Produto_Acabado	[DestroyedEntities]	FlowTime	TimeInSystem	Throughput	NumberEntered	Total	123,0000	
				NumberExited	Total	122,0000		
				Average (Hours)	3,7260			
				Maximum (Hours)	7,4186			
				Minimum (Hours)	0,0676			
				Observations	350,0000			
				InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	350,0000
						NumberExited	Total	350,0000

3.9. Tempos de Montagem com uso do Gabarito

A utilização do gabarito deu a possibilidade de melhorar os tempos de montagem em 38%, visto que outrora tínhamos 6.31 minutos de *cycle time* e agora temos 3,93 minutos de *cycle time*, a Figura 3.18 mostra a diferença entre a utilização do gabarito com a parafusadora no processo, é importante destacar que a segunda montagem foi de 21,55 minutos o que evidencia melhoria de 82% em comparação com os 3,93 minutos atuais. Sem o gabarito realizou-se 30 montagens e com o gabarito realizou-se 21, esta diferença permite atender uma demanda acima de 300 unidades em conformidade dos resultados da simulação, balanceamento da linha e dos cálculos que se seguem;

$$Cap.Produção = \frac{T \text{ Disponível}}{Cycle \text{ Time}} \quad (3.1)$$

$$Cap.Produção = \frac{480min}{3.93min} = 122 \text{ Talochas por dia}$$

$$Cycle \text{ Time} = \frac{T \text{ Disponível}}{Demanda} \quad (3.4)$$

$$Cycle \text{ Time} = \frac{480 \text{ min}}{(122 * 3) \text{ unid}} = 1.31 \text{ min/unidade}$$

Os cálculos deixam claro que se um operador trabalhar durante 8 horas de serviço com apenas um posto de trabalho é capaz de produzir 122 unidades e se houver 3 operadores para cada posto teremos 366 unidades. Comparando estes valores com a simulação é possível concluir que se for para maximizar a produção é preferível a utilização de uma linha com postos paralelos porque o somatório do tempo ocioso reduz a produção de 364 unidades para 353 unidades, ou seja teremos menos 11 unidades em 8 horas.

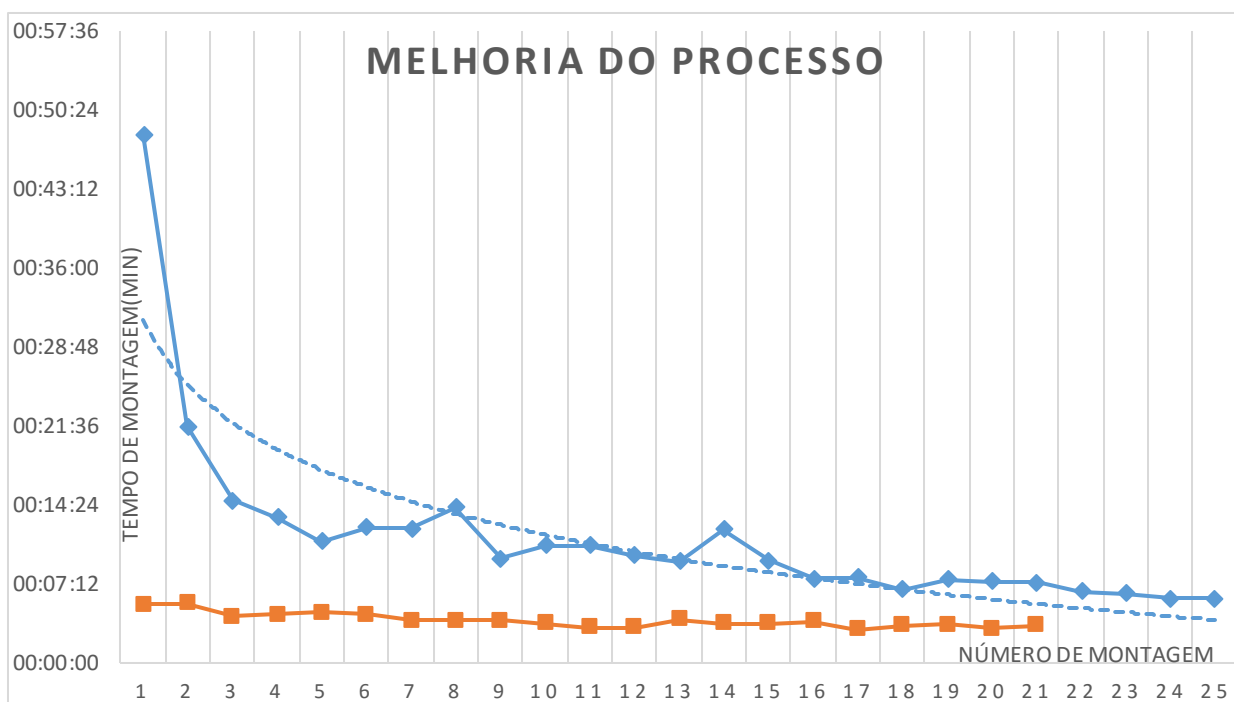


Figura 3.18 Melhoria do cycle time com uso do gabarito.

3.10. Simulação do Processo Produtivo – Job Instruction

Tudo quanto foi aplicado até aqui será efetivamente para treinamento dos operadores do curso nos próximos semestres, por isso, acha-se a necessidade de criar um modelo de instruções e procedimentos para instruir os operadores, mas também com outros estudos que poderão ser desenvolvidos futuramente na fábrica de aprendizagem do departamento. O treinamento irá seguir o fluxo descrito na Figura 3.19.

Abordagem do processo é baseada em três fases designadamente, a otimizar e planejar a produção de forma empírica sem conceitos Lean, a segunda fase se dá início por passar informações aos operadores, planejar a produção com conceitos Lean, terceira fase ocorre com o processo de melhoria contínua usando outras metodologias Lean.

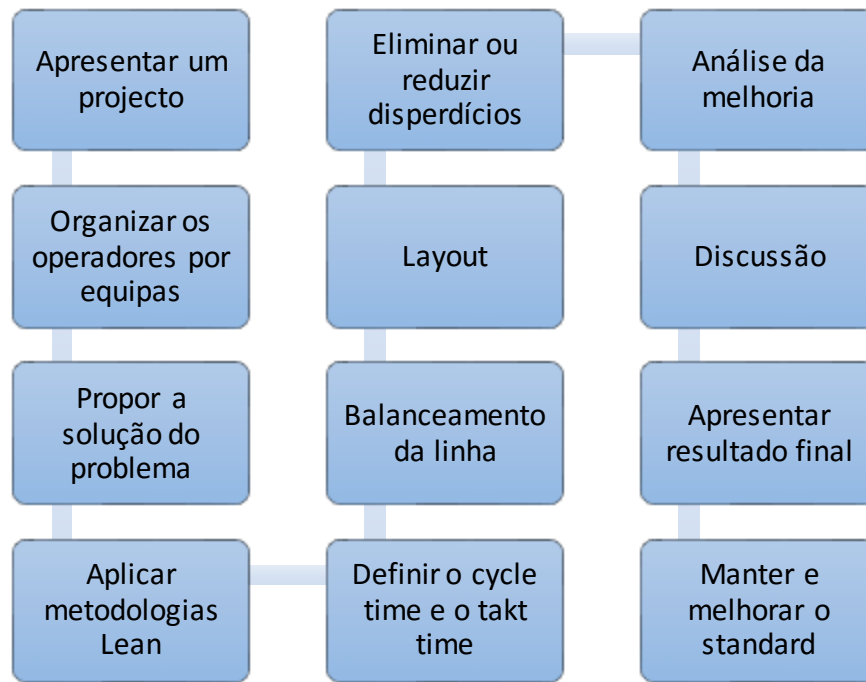


Figura 3.19 Proposta para processo o de aprendizagem

O projeto apresentado aos operadores poderá integrar práticas académicas no contexto industrial com várias sessões realizadas na fábrica de aprendizagem sob orientação de um supervisor responsável por coordenar todas atividades ao longo do processo de aprendizagem. É sugerido que a programação da produção inclua a ferramenta MRP considerando uma demanda ao critério das necessidades da produção.

O primeiro procedimento é utilizar um grupo de operadores que irão seguir as orientações preestabelecidas da sequência de montagem para fazer um teste, consequentemente irá criar uma condição equivalente a alguém que veio ao posto de trabalho pela primeira vez, sendo assim os mais experientes observam as dificuldades que os operadores principiantes terão. Os experientes irão identificar as dúvidas e as dificuldades a fim de saber se os procedimentos da montagem preestabelecidas são úteis para que um operador principiante seja capaz de fazer a leitura da legenda e montar o produto, caso haja dificuldades por parte do operador urge a necessidade de alterar para eliminar as dúvidas e melhorar os procedimentos.

Segundo ciclo: O operador experiente realiza a montagem observado pelo operador principiante.

Terceiro ciclo: o operador principiante realiza a montagem e verbaliza o processo de montagem, no caso em que o operador se esqueça de um passo é avisado pelo

team leader para voltar a instruí-lo. Se ele conseguir verbalizar e entender o processo considera-se um *standard* alcançado, portanto os ciclos que se seguem são para garantir experiência ao operador principiante os ciclos podem chegar até ao vigésimo até que ele atinge um bom nível de autonomia de montagem, depois de várias iterações é a altura que começa a estabilizar o tempo de ciclo e todo operador deverá ser capaz de chegar ao mesmo tempo de ciclo. Um aspecto a ser levado em consideração é a apresentação do resultado final que não deve ser o ponto concludente do processo, pelo contrário, é mais o início de uma etapa, com base nesses resultados é aplicado algumas metodologias que proporcionam melhoria contínua.

Este processo de aprendizagem foi realizado experimentalmente com dois operadores na fábrica de aprendizagem, a partir disso obteve-se o seguinte gráfico de que denota a evolução de aprendizagem dos operadores no esforço de alcançar o *standard work* durante 33 montagens realizadas para cada operador Figura 3.20, pela figura é possível observar que a partir da 14ª montagem os dois operadores alcançam tempos harmoniosos ou em equilíbrio, outros dados do treinamento encontram-se no anexo B.

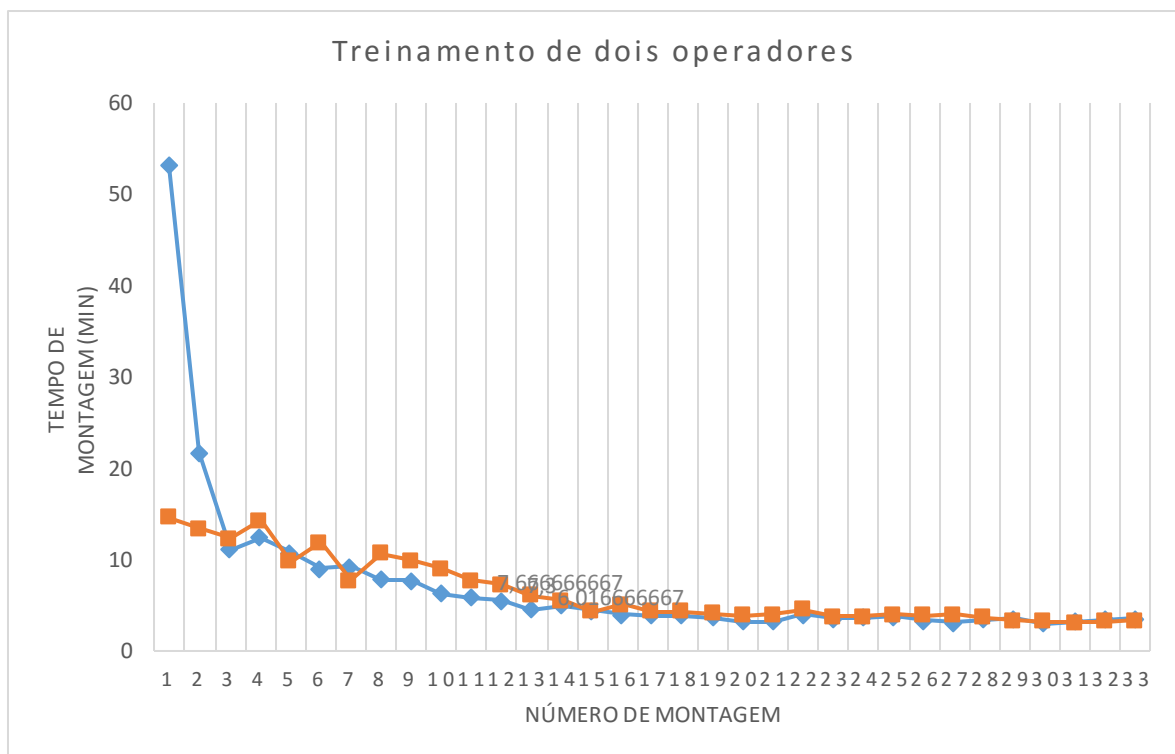


Figura 3.20 Gráfico do treinamento de dois operadores.

4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O segundo capítulo apresenta de forma geral os efeitos positivos que as fábricas de aprendizagem têm acarretado nas instituições possibilitando treinamento dos operadores com maior compreensão e retenção dos conceitos a nível da produção.

O terceiro capítulo do trabalho é devotado na abordagem de um modelo de produção focado na transmissão de conhecimento realizado na fábrica de aprendizagem do DEM EGI desenvolvido mediante um problema prático. O modelo foi realizado para que os operadores possam usar como base de aprendizado de um processo de produção, e por fim é apresentado no formato de um manual com procedimentos para os operadores. Este trabalho propõe treinar os operadores para aquisição de conceitos Lean de forma lúdica, motivadora e com aprendizagem ativa diferenciado do método convencional.

O treinamento realizado com dois operadores permitiu obter o *feedback* por meio de resultados das melhorias aplicadas assim permitiu também perceber que os futuros operadores poderão aprender alguns conceitos de EGI com dualidade, isto é, teórico prático e comprovar o aprendizado por meio dos resultados e discussões. Estarão habilitados a identificar problemas, superar e confrontar desafios, estruturar e planejar de forma eficiente a produção. As metodologias podem ser aplicadas nas disciplinas controlo de produção e melhoria contínua. Quando implementados por meio de projetos, os operadores não só poderão entender melhor as filosofias Lean como também implementá-las.

“Onde não existe um *standard*, não pode existir melhoria”, disse Taiichi Ohno, portanto este é o *standard* atual e espera-se que futuros estudos possam melhorar o *Kaizen* atual, é de realçar que esta pesquisa tem algumas limitações, pois que existem equipamentos na fábrica que não foram explorados, refere-se ao conjunto RFID, código de barra, *tags*, *tablets* e o monitor, com isto espera-se que num estudo futuro os operadores do curso possam utilizar para abranger o aprendizado. Os equipamentos citados, mas não explorados dão a possibilidade dos operadores a criação de uma base de dados com *tags* e sequência dos produtos para a devida produção, isto permitirá também obter uma gestão visual da produção por meio de *tabletes*, entretanto pesquisas futuras encontram-se abertas na fábrica de aprendizagem do DEM EGI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chrysolouris, G., Sihm, W., ElMaraghy, H., ... Ranz, F. (2015). Learning factories for research, education, and training. *Procedia CIRP*, 32(Cl), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187>
- Assis, R. (2017). *Balanceamento de uma linha de produção*. (1), 10. Retrieved from <http://www.rassis.com/artigos/Operacoes/Balanceamento.pdf>
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34–47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
- Baena, F., Guarín, A., Mora, J., Sauza, J., & Retat, S. (2017). Learning Factory: The Path to Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 9, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.022>
- Bauer, H., Brandl, F., Lock, C., & Reinhart, G. (2018). Integration of Industrie 4.0 in Lean Manufacturing Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, 23(2017), 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.008>
- Bauernhansl, T., Krüger, J., Reinhart, G., & Schuh, G. (2016). WGP-Standpunkt Industrie 4.0. *WGP-Standpunkte*, 1, 0–49. Retrieved from http://www.wzl.rwth-aachen.de/cms/www_content/de/7d2193a6aab49409c125801200355467/wgp-standpunkt_industrie_4-0.pdf
- Beewatec. (n.d.). www.beewatec.de/. Retrieved May 14, 2019, from <https://www.beewatec.de/produkte-systeme/baukastensysteme/rohrstecksysteme/>
- Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Blöchl, S. J., Michalicki, M., & Schneider, M. (2017). Simulation Game for Lean Leadership – Shopfloor Management Combined with Accounting for Lean. *Procedia Manufacturing*, 9(December), 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.031>
- Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F., & Faccio, M. (2017). Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 5700–5705. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1121>

-
- Carmona, S. (2015). *Jogos Sérios para a Saúde*.
- de Smale, S., Overmans, T., Jeurig, J., & van de Grint, L. (2015). The effect of simulations and games on learning objectives in tertiary education: A systematic review. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9599(November), 506–516. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40216-1_55
- Durão, L. F. C. S., Guimarães, M. O., Salerno, M. S., & Zancul, E. (2019). Uncertainty Management in Advanced Manufacturing Implementation: The Case for Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, 31, 213–218. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.034>
- Educacional, T. (2012). *Contribuições dos jogos em educação*. 1–10.
- Elbestawi, M., Centea, D., Singh, I., & Wanyama, T. (2018). SEPT Learning Factory for Industry 4.0 Education and Applied Research. *Procedia Manufacturing*, 23(2017), 249–254. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.025>
- ElMaraghy, H., Hummel, V., Ranz, F., Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., ... Sihn, W. (2015). Learning factories for research, education, and training. *Procedia CIRP*, 32, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187>
- Enke, J., Tisch, M., & Metternich, J. (2017). *A guide to develop competency-oriented Lean Learning Factories systematically Introducing a maturity model for learning factories View project*. (3). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/316789553>
- Ferrer, G., Heath, S. K., & Dew, N. (2011). An RFID application in large job shop remanufacturing operations. *International Journal of Production Economics*, 133(2), 612–621. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.05.006>
- Festo. (2019). Soluções individuais: Produção híbrida de fábrica AFB. Retrieved April 14, 2019, from <https://www.festo-didactic.com/de-de/lernsysteme/lernfabriken,cim-fms-systeme/afb-factory-hybride-produktion/individuelle-loesungen-afb-factory-hybride-produktion.htm?fbid=ZGUuZGUuNTQ0LjEzLjE4Ljk5Ny43Nzc4>
- Geisberger, E., Cengarle, M., Keil, P., Niehaus, J., Thiel, C., & Thönnißen-Fires, H.-J. (2011). Acatech position CPS. *Acatech*, 1–45. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27567-8>
- Giffi, C. A., Rodriguez, M. D., Gangula, B., Roth, A. V., & Roth, A. V. (2016). Global manufacturing competitiveness index. *Deloitte Touche Tohmatsu Limited (DTTL)*

Global Consumer & Industrial Products Industry Group and the Council on Competitiveness.

- Gjeldum, N., Mladineo, M., Crnjac, M., Veza, I., & Aljinovic, A. (2018). Performance analysis of the RFID system for optimal design of the intelligent assembly line in the learning factory. *Procedia Manufacturing*, 23(2017), 63–68.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.162>
- Gotthardt, S., Hulla, M., Eder, M., Karre, H., & Ramsauer, C. (2019). Digitalized milk-run system for a learning factory assembly line. *Procedia Manufacturing*, 31, 175–179.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.028>
- Gräßler, I., Pöhler, A., & Pottebaum, J. (2016). Creation of a Learning Factory for Cyber Physical Production Systems. *Procedia CIRP*, 54, 107–112.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.063>
- Hall, P. (2011). *STRING*. 0, 1–7.
- Hays, R. T. (2005). The effectiveness of instructional games: a literature review and discussion. *Naval Air Warfare Center Training Systems Division*, 1–63.
<https://doi.org/citeulike-article-id:3089090>
- Hertle, C., Cachay, J., Tisch, M., Abele, E., Metternich, J., & Tenberg, R. (2013). A systematic approach on developing action-oriented, competency-based Learning Factories. *Procedia CIRP*, 7, 580–585. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.036>
- Hibbs, C., Jewett, S., & Mike, B. (2009). *The Art of Lean Software Development*.
- Huang, S., Guo, Y., Zha, S., Wang, F., & Fang, W. (2017). A Real-time Location System Based on RFID and UWB for Digital Manufacturing Workshop. *Procedia CIRP*, 63, 132–137. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.085>
- IALF. (n.d.). International Association of Learning Factories. Retrieved April 12, 2019, from <https://ialf-online.net>
- Jorgensen, J. E., Lamancusa, J. S., Zayas-Castro, J. L., & Ratner, J. (1995). The Learning Factory - Curriculum Integration of Design and Manufacturing. *Proceedings of the Fourth World Conference on Engineering Education*, (October), 1–7. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/feec/6aee8134ef124e5db19e5b10041dda41c3fd.pdf>
- Juraschek, M., Büth, L., Posselt, G., & Herrmann, C. (2018). Mixed Reality in Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, 23(2017), 153–158.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.009>

-
- Lean, J., Moizer, J., Towler, M., & Abbey, C. (2006). Simulations and games: Use and barriers in higher education. *Active Learning in Higher Education*, 7(3), 227–242. <https://doi.org/10.1177/1469787406069056>
- Lolli, F., Balugani, E., Gamberini, R., & Rimini, B. (2017). Stochastic assembly line balancing with learning effects. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 5706–5711. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1122>
- Lonnie, W. (2010). *How to Implement Lean Manufacturing*.
- Louw, L., & Walker, M. (2018). Design and implementation of a low cost RFID track and trace system in a learning factory. *Procedia Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.026>
- Metternich, J., Tisch, M., & Abele, E. (2018). Learning Factories. In *Learning Factories*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92261-4>
- Milgram, P., & Kishino, F. (2003). A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS. *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D, No.12. (12), 1–15.
- Monsalve, E. S., Feijo, B., Barbosa, S. D. J., Leite, J. C. S., Werner, C. M. L., & Werneck, V. M. B. (2014). Uma abordagem para transparência pedagógica usando aprendizagem baseado em jogos. *Article*, 256. <https://doi.org/https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.24505>
- Mortara, M., Catalano, C. E., Bellotti, F., Fiucci, G., Mortara, M., Catalano, C. E., ... Houry-panchetti, M. (2015). Learning cultural heritage by serious games To cite this version : HAL Id : hal-01120560. *Journal of Cultural Heritage*, 15 (n° 3), 10. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.04.004>
- Moutinho, E. C. (2012). *Esenvolvimento de um jogo de simulação do sistema de produção lean*.
- Muscard, B., & Seliger, G. (2015). Realization of a learning environment to promote sustainable value creation in areas with insufficient infrastructure. *Procedia CIRP*, 32(C1f), 70–75. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.095>
- Ncube, L. B. (2007). Exploring the application of experiential learning in developing technology and engineering concepts: The Lean Lemonade Tycoon™. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, 5–10. <https://doi.org/10.1109/FIE.2007.4418021>
- Ncube, L. B. (2010). A simulation of lean manufacturing: The lean lemonade tycoon 2.
-

-
- Simulation and Gaming*, 41(4), 568–586. <https://doi.org/10.1177/1046878109334336>
- Ortiz, C. A. (2015). *TPM Playbook: A Step-by-Step Guideline for the Lean Practitioner*. CRC Press/Taylor & Francis Group, LLC.
- Paupitz, A. (2000). *Sistematização do Planejamento da Seqüência de Montagem de Produtos Industriais Dissertação*.
- Pontevedra, V. (2019). ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect IoT , IIoT and Cyber-Physical Systems Integration in the SEPT IoT , IIoT and Cyber-Physical Systems Integration in the SEPT Learning Factory Learning Factory L8S Industry Costing models for capacity optimization i. *Procedia Manufacturing*, 31, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.019>
- Pontevedra, V., Karre, H., Auberger, E., Karre, H., & Ramsauer, C. (2019). ScienceDirect ScienceDirect Introduction of a new product in an operating assembly process at Introduction of a new product in an operating assembly process at Graz Technology ´s LEAD Society of Graz of Technology ´s LEAD Costing models ca. *Procedia Manufacturing*, 31, 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.017>
- Reis, D. A. dos. (2015). O planejamento do procedimento da montagem. *Revista de Administração de Empresas*, 4(12), 73–92. <https://doi.org/10.1590/s0034-75901964000300003>
- Reuter, M., Oberc, H., Wannöfel, M., Kreimeier, D., Klippert, J., Pawlicki, P., & Kuhlentötter, B. (2017). Learning Factories’ Trainings as an Enabler of Proactive Workers’ Participation Regarding Industrie 4.0. *Procedia Manufacturing*, 9, 354–360. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.020>
- Ritzenthaler, M. D., & Ed, M. (2009). *Integrating Technology into Classroom Instruction*.
- Rodrigues, M. V. (2015). Lean Manufacturing. In *Business Performance Excellence* (Elsevier E). <https://doi.org/10.5040/9781472920430.0022>
- Rojko, A. (2017). *Industry 4.0 Concept: Background and Overview*. 11(5), 77–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>
- Rosenfield Boeira, J. N. (2017). Lean Game Development. In *Lean Game Development*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3216-3>
- Rybski, C., & Jochem, R. (2016). Benefits of a Learning Factory in the Context of Lean Management for the Pharmaceutical Industry. *Procedia CIRP*, 54, 31–34. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.106>
-

-
- Seitz, K. F., & Nyhuis, P. (2015). Cyber-physical production systems combined with logistic models-a learning factory concept for an improved production planning and control. *Procedia CIRP*, 32(C1f), 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.220>
- Shegog, R. (2010). *Application of behavioral theory in computer game design for health behavior change*. <https://doi.org/10.4018/978-1-61520-739-8.ch011>
- Shubik, M. (2009). It Is Not Just a Game! *Simulation & Gaming*, 40(5), 587–601. <https://doi.org/10.1177/1046878109333722>
- Tang, S., Hanneghan, M., & Carter, C. (2013). A platform independent game technology model for model driven serious games development. *Electronic Journal of E-Learning*, 11(1), 61–79.
- Thiede, B., Posselt, G., Kauffeld, S., & Herrmann, C. (2017). Enhancing Learning Experience in Physical Action-orientated Learning Factories Using a Virtually Extended Environment and Serious Gaming Approaches. *Procedia Manufacturing*, 9, 238–244. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.042>
- Thiede, S., Juraschek, M., & Herrmann, C. (2016). Implementing Cyber-physical Production Systems in Learning Factories. *Procedia CIRP*, 54, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.098>
- Tisch, M., & Metternich, J. (2017). Potentials and Limits of Learning Factories in Research, Innovation Transfer, Education, and Training. *Procedia Manufacturing*, 9, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.027>
- Tisch, M., Metternich, J., Vera, H., & Abele, E. (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).
- Vaz de Carvalho, C., Lopes, M. P., & Ramos, A. G. (2014). Lean Games Approaches – Simulation Games and Digital Serious Games. *International Journal of Advanced Corporate Learning (IJAC)*, 7(1), 11. <https://doi.org/10.3991/ijac.v7i1.3433>
- Veza, I., Gjeldum, N., Mladineo, M., Celar, S., Peko, I., Cotic, M., ... Stojkic, Z. (2017). Development of Assembly Systems in Lean Learning Factory at the University of Split. *Procedia Manufacturing*, 9, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.038>
- Wagner, U., AlGeddawy, T., ElMaraghy, H., & Müller, E. (2012). The state-of-the-art and

prospects of learning factories. *Procedia CIRP*, 3(1), 109–114.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.020>






Wagner, U., AlGeddawy, T., ElMaraghy, H., & Müller, E. (2014). Product family design for changeable learning factories. *Procedia CIRP*, 17, 195–200.

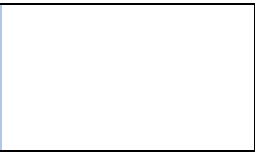





<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.119>




Wank, A., Adolph, S., Anokhin, O., Arndt, A., Anderl, R., & Metternich, J. (2016). Using a Learning Factory Approach to Transfer Industrie 4.0 Approaches to Small- and Medium-sized Enterprises. *Procedia CIRP*, 54, 89–94.







<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.068>

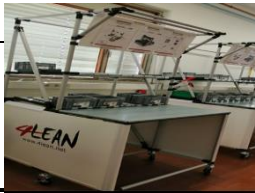





ANEXO A

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

								
	6	Base de PVC e espuma	Preto	B2	PVC-50	9001380000360	Base de PVC preta com esponja	10
	7	Parafuso ponta afiada	Cinzeno	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
	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	Raspberry pi/RFID	N/A	RFID	N/A	N/A	N/A	1
	16	Leitor código Barra	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A

	17	Cartão RFID	N/A		N/A	N/A	N/A	1
		Tablets	Preto	Tb				5
	18	Peça modelo	N/A	PM	N/A	N/A	Peça Modelo sem base de PVC	1
	16	Chave sextavada	Vermelho e preto	CS	5CRVMO	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

	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

JOB INSTRUCTION POCKET CARD**HOW TO INSTRUCT****STEP 1 – PREPARE THE WORKER**

- Put the person at ease
- State the job
- Find out what the person already knows
- Get the person interested in learning the job
- Put the person in correct position

STEP 2 – PRESENT THE OPERATION

- Tell, show and illustrate – one IMPORTANT STEP at a time
- Stress each KEY POINT and its REASON
Instruct clearly, completely, and patiently giving no more than they can master at one time

STEP 3 – TRY OUT PERFORMANCE

- Have the person do the job – correct for errors
- Have the person do the job – explain KEY POINTS and REASONS

*Make sure the person understands
Continue until YOU know THEY know*

STEP 4 – FOLLOW UP

- Put on own
- Who to go to for help
- Check frequently
- Encourage questions
- Taper off coaching

**IF THE PERSON HASN'T LEARNED,
THE INSTRUCTOR HASN'T TAUGHT**

USING JOB INSTRUCTION

A Guide for Second Line Supervisors
How to START Your People Using It

1. HELP them spot production needs and work out a training schedule to meet the needs – TIME TABLE.
2. HELP them dig out the key points that cause scrap, accidents, rejects and delays – JOB BREAKDOWNS.
3. ENCOURAGE them to have everything ready and the work place properly arranged.
4. GIVE them practice in putting across the instruction as organized on their job breakdowns – 4-STEPS.

**GET PRODUCTION THROUGH
JOB INSTRUCTION**

JOB INSTRUCTION POCKET CARD***How to Get Ready to Instruct***

Before instructing people on how to do a job:

1. HAVE A TRAINING TIMETABLE

Determine **who** to train...

On **what tasks**...

By **what date**.

2. BREAK DOWN THE JOB

- List Important Steps
- Pick out key points and reasons
- Safety is always a key point

3. HAVE EVERYTHING READY

Have the right equipment, tools, materials, and supplies – everything needed to instruct

4. ARRANGE THE WORK AREA

Just as in actual working conditions

**USING JOB INSTRUCTION**

A Guide for Second Line Supervisors
How to KEEP Your People Using It

1. REVIEW with them their time tables once a _____. Make sure current production needs are spotted.
2. REVIEW with them the job breakdowns they will use during the _____. Look for the key points that will prevent scrap, accidents, and delays.
3. CHECK workers occasionally to see if they know the key points and reasons.
4. Look into injuries, scrap, rejects, tool and equipment damage. Find the cause:
 - Was a key point left out of the breakdown?
 - Were the four steps poorly used?
5. **Coach** where needed.

**GET PRODUCTION THROUGH
JOB INSTRUCTION**

Instruções de trabalho (Thebilasgroup, n.d.).

ANEXO B

Process Study Sheet

Process Study	Process:	Product:	Observer:	Date	Time:	Page /							
Process Steps	Work Element	OPERATOR										MACHINE Cycle Time	Notes
		Observed Times											

Kaizen Express



Standardized Work 1: Process Capacity Sheet

Process Capacity Sheet		Approved by:		Part #		Application			
				Part name		Number of parts			
Step	Step name	Machine #	BASIC TIME			TOOL CHANGE		PROCESSING CAPACITY / SHIFT	Remarks
						CHANGE	TIME		
		Total							

Standardized Work 2: Job Instruction Sheet

Job Instruction Sheet		Part #		Required Quantity:	Date:	Dept. / Location:		Team Leader:	Supervisor:
		Part Name				Prepared By:			
#	Step	Quality Check		Note	Time	Takt Time	Cycle Time	WIPQuality	<input type="checkbox"/> Safety <input type="checkbox"/> STD WIP
		Sampling	Tool						
Total									

Kaizen Express



APÊNDICE A

Fluxo de montagem do produto sem gabarito

N.º	Passos do Processo	Tempo	Descrição
		Médio Min/Seg	
1	Alinhar 2xPS sobre a área de trabalho	00:08	Montagem do Manípulo: como na fotografia-lado 1, ver padrão na bacada de trabalho
2	Colocar 2xJ1 por cima de PS	00:10	Alinhar centrado pelas guias
3	Colocar 3xT4 sobre J1	00:10	Alinhado com J1 e pelas extremidades
4	Colocar 2xJ1 por cima de T4	00:32	Alinhado com J1 e pelas extremidades
5	Colocar 2xP2 em J1	00:20	Aperto ligeiro do PS com a mão dominante sem a ferramenta CS
	Libertar Manípulo	00:02	Esperar...
6	Colocar 4xPS sobre a mesa de trabalho em posição	00:12	Montagem do Quadruplo: posição dos P2 em vertical com cabeça virada para baixo
7	Colocar 4xJ1 por cima dos 4xPS	00:12	Segue a mesma posição das peças P2
8	Colocar 2xT1 em cima dos 4xJ1	00:20	
9	Colocar 4xJ1 por cima dos 2xT1	00:15	Alinhado com a sua extremidade
9	Colocar 4xP2 T4 em J1 na posição 3	00:20	Aperto ligeiro do PS com a mão dominante sem a ferramenta CS
10	Colocar 1xP2 em 1xJ3	00:18	Sem torque ou aperto
11	Colocar 1xP2 em 1xJ3	00:14	Sem torque ou aperto
12	Colocar 2xJ3 em baixo do 2xT1	00:14	Alinhado ao centro
13	Colocar 1xT4 em ambos os lados do J3	00:18	Unir os dois lados com folga para entrada do T4
14	Colocar 2xT4 em ambos os lados do J1	00:10	Unir os dois lados com folga para entrada do T4
15	Colocar 2xJ2 entre o T4 e o T1 no centro	00:16	
16	Colocar 2xPS em J2	00:14	Aperto ligeiro do PS com a mão dominante sem a ferramenta CS
17	Colocar 2xP2 em J3 com a cabeça virada para fora, para direita e esquerda	00:10	Aperto ligeiro do PS com a mão dominante sem a ferramenta CS

N.º	Passos do Processo	Tempo	Descrição
		Médio Min/Seg	
18	Libertar Manípulo	00:02	Esperar...
19	Aperto final do P2 com ferramenta CS com cabeça par baixo	00:14	Manípulo
	Unir Manípulo com o quadruplo	00:30	
20	Unir com J3 e J2	00:09	
21	Aperto final com a ferramenta CS do P2	00:49	Aperto com a mão dominante virado para o operador. Fim do processo.
	Tempo total do processo de todas operações	0:06:19	

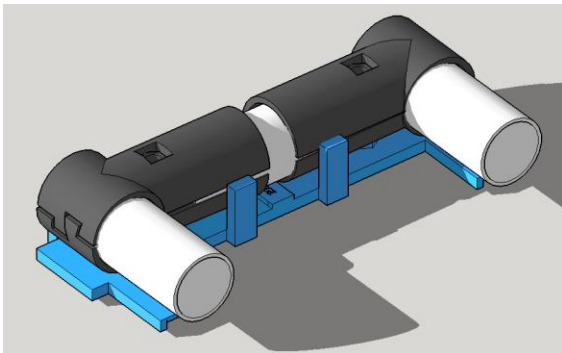
Fluxo de montagem do produto com gabarito

N.º	PASSOS DO PROCESSO	Atividades do Processo					Tempo	Descrição
		Processar/ Executar	Transportar/ Movimentar	Controlar/ Verificar	Esperar/ Aguardar	Armazenar/ Arquivar	Médio Min/Seg	
1	Colocar e alinhar PS no gabari	○	➔	□	D	▽	00:12	Montagem do quadruplo, colocar exatamente no orifício
2	Colocar P2 alinhado com os orifícios do gabari	○	➔	□	D	▽	00:02	alinhar centrado pelas guias e fixar
3	Colocar J1 alinhado com os batentes sobre o PS	○	➔	□	D	▽	00:07	alinhar com as guias e com os batentes interior
4	Colocar J3 sobre P2 alinhado com os batentes	○	➔	□	D	▽	00:02	Colocar ambos e alinhar as extremidades rente ao batentes
5	Colocar T1 por cima do J1 e J3 alinhado com J1	○	➔	□	D	▽	00:09	Colocar ambos e alinhar as extremidades rente ao batentes
6	Colocar T4 sobre J1	○	➔	□	D	▽	00:02	
7	Colocar J1 por cima de T4	○	➔	□	D	▽	00:08	Juntar as dobradiças e fechar

N.º	PASSOS DO PROCESSO	Atividades do Processo					Tempo Médio Min/Seg	Descrição
		Processar/ Executar	Transportar/ Movimentar	Controlar/ Verificar	Esperar/ Aguardar	Armazenar/ Arquivar		
8	Colocar 4x P2 em J1	○	➔	□	D	▽	00:35	Alinhado fazer torque com aperto final
8	Colocar 4x P2 em J1	○	➔	□	D	▽	00:35	Alinhado fazer torque com aperto final
9	Colocar J2 em sobre T1 e T4	○	➔	□	D	▽	00:02	Alinhar com T1 e T4
10	Colocar PS sobre J2	○	➔	□	D	▽	00:02	Aperto ligeiro com folga e fazer para mão dominante
11	Colocar P2 sobre J3 Em ambos os lados	○	➔	□	D	▽	00:05	Virar a peça para o lado do operador, aperto ligeiro com folga usar a mão dominante
12	Libertar quadruplo	○	➔	□	D	▽	00:02	Esperar a montagem do manipulô
13	Colocar e alinhar 2x PS no gabari	○	➔	□	D	▽	00:02	Montagem do Manipulo, colocar exatamente no orificio
14	Colocar J1 alinhado com os batentes sobre o PS	○	➔	□	D	▽	00:02	Alinhar com as guias e com os batentes interior
15	Colocar T4 sobre J1	○	➔	□	D	▽	00:02	
16	Colocar J1 por cima de T4	○	➔	□	D	▽	00:04	Juntar as dobradiças e fechar
17	Colocar PS sobre J1	○	➔	□	D	▽	00:17	Aperto final sem folga com a mão dominante
18	Coloco manipulô sobre o quadruplo (juntar)	○	➔	□	D	▽	00:11	Unir e alinhar T4 com o J2
19	Aperto final do PS com P2	○	➔	□	D	▽	00:21	Verificar o passo 10 onde ficou um aperto com folga
20	Aperto final do PS com P2	○	➔	□	D	▽	00:22	Verificar o passo 11 onde ficou um aperto com folga
21	Libertar peça e passar para a base	○	➔	□	D	▽	00:02	
22	Colocar B1 sobre a mesa	○	➔	□	D	▽	00:02	Alinhar pelas guias
23	Colocar J4 sobre B1	○	➔	□	D	▽	00:02	Alinhar com as guias
24	Colocar P1 sobre J4	○	➔	□	D	▽	00:06	Alinhar e aperto final com a mão dominante

N.º	PASSOS DO PROCESSO	Atividades do Processo					Tempo	Descrição
		Processar/ Executar	Transportar/ Movimentar	Controlar/ Verificar	Esperar/ Aguardar	Armazenar/ Arquivar	Médio Min/Seg	
25	Aperto final do P1 com J4	○	➔	□	D	▽	00:11	
26	Unir a peça com a base	○	➔	□	D	▽	00:03	Usar o encaixe do J4
27	Tempo total do processo de todas operações	○	➔	□	D	▽	03:26	

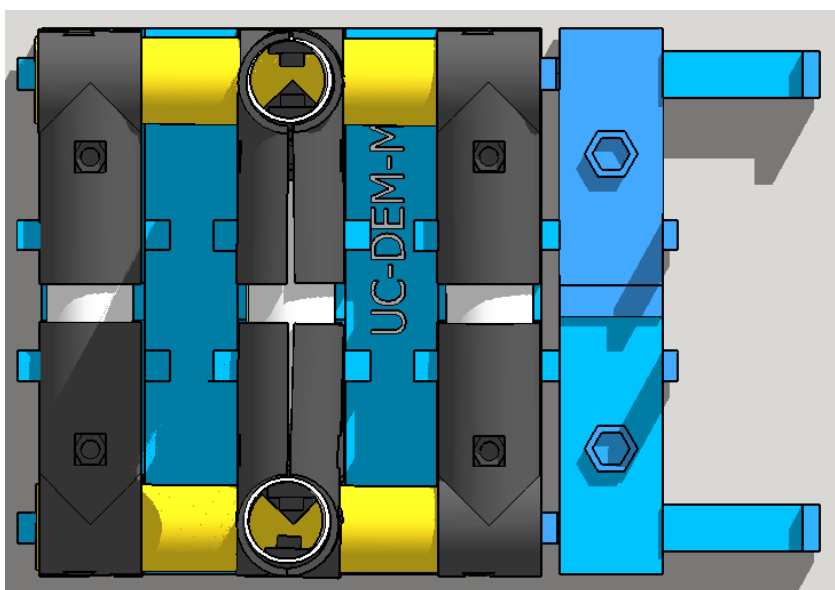
Testes antes e depois da impressão do gabarito



Teste Virtual 3D



Teste Físico



Teste Virtual 3D



Verificação do encaixe a sextavada

N.º	Número de montagem operações																				N- Op.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Tempo	00:26	00:04	00:10	00:04	00:18	00:03	00:12	01:12	00:03	00:03	00:09	00:02	00:03	00:03	00:03	00:07	00:51	00:26	00:11	00:53	05:23	
1	00:28	00:05	00:11	00:04	00:19	00:02	00:12	01:11	00:02	00:03	00:11	00:03	00:03	00:04	00:02	00:05	00:52	00:27	00:13	00:53	05:30	
2	00:18	00:02	00:09	00:03	00:10	00:04	00:08	01:03	00:02	00:04	00:07	00:02	00:02	00:02	00:03	00:06	00:41	00:16	00:12	00:45	04:19	Parafusadora
3	00:20	00:03	00:08	00:03	00:09	00:03	00:11	01:01	00:03	00:05	00:10	00:04	00:02	00:03	00:04	00:08	00:35	00:24	00:10	00:43	04:29	Parafusadora
4	00:23	00:04	00:10	00:03	00:16	00:02	00:10	01:08	00:03	00:03	00:09	00:02	00:02	00:04	00:03	00:07	00:36	00:16	00:09	00:50	04:40	Parafusadora
5	00:20	00:04	00:09	00:04	00:15	00:04	00:10	01:06	00:02	00:02	00:08	00:02	00:03	00:02	00:03	00:05	00:34	00:20	00:08	00:48	04:29	Parafusadora
6	00:13	00:03	00:08	00:03	00:07	00:02	00:08	01:00	00:03	00:02	00:11	00:02	00:03	00:04	00:02	00:06	00:35	00:14	00:10	00:41	03:57	Parafusadora
7	00:15	00:05	00:11	00:02	00:11	00:04	00:11	00:47	00:02	00:03	00:07	00:03	00:02	00:02	00:03	00:06	00:22	00:15	00:09	00:53	03:53	Parafusadora
8	00:12	00:03	00:12	00:03	00:10	00:02	00:10	01:00	00:02	00:04	00:09	00:02	00:02	00:03	00:03	00:04	00:20	00:13	00:09	00:51	03:54	Parafusadora
9	00:12	00:05	00:08	00:04	00:12	00:04	00:08	00:52	00:02	00:05	00:09	00:04	00:03	00:03	00:03	00:04	00:18	00:12	00:09	00:41	03:38	Parafusadora
10	00:12	00:02	00:07	00:02	00:10	00:03	00:08	00:40	00:03	00:03	00:08	00:02	00:03	00:02	00:02	00:04	00:17	00:13	00:10	00:43	03:14	Parafusadora
11	00:12	00:04	00:07	00:03	00:08	00:02	00:08	00:45	00:02	00:02	00:08	00:02	00:03	00:02	00:03	00:04	00:17	00:13	00:08	00:43	03:16	Parafusadora
12	00:14	00:03	00:08	00:04	00:11	00:04	00:12	01:06	00:02	00:02	00:09	00:02	00:03	00:02	00:02	00:04	00:20	00:15	00:10	00:45	03:58	Parafusadora
13	00:13	00:02	00:09	00:04	00:11	00:03	00:11	00:54	00:03	00:02	00:09	00:02	00:02	00:02	00:02	00:04	00:17	00:12	00:09	00:48	03:39	Parafusadora
14	00:14	00:04	00:08	00:03	00:09	00:02	00:10	00:55	00:02	00:02	00:10	00:02	00:02	00:02	00:02	00:05	00:22	00:13	00:09	00:45	03:41	Parafusadora
15	00:15	00:03	00:08	00:02	00:09	00:03	00:09	01:00	00:02	00:03	00:09	00:02	00:03	00:02	00:03	00:05	00:19	00:14	00:08	00:50	03:49	Parafusadora
16	00:13	00:04	00:11	00:03	00:08	00:03	00:08	00:35	00:03	00:02	00:05	00:03	00:03	00:02	00:03	00:06	00:18	00:08	00:05	00:43	03:06	Parafusadora
17	00:14	00:04	00:09	00:04	00:11	00:02	00:10	00:35	00:02	00:02	00:08	00:02	00:02	00:04	00:02	00:04	00:22	00:15	00:08	00:48	03:28	Parafusadora
18	00:13	00:03	00:07	00:02	00:18	00:03	00:09	00:46	00:03	00:03	00:07	00:03	00:02	00:02	00:02	00:05	00:21	00:11	00:08	00:45	03:33	Parafusadora
19	00:13	00:03	00:07	00:03	00:10	00:02	00:07	00:40	00:02	00:04	00:09	00:02	00:03	00:03	00:02	00:04	00:17	00:11	00:08	00:42	03:12	Parafusadora
20	00:12	00:03	00:06	00:04	00:10	00:03	00:06	00:52	00:02	00:03	00:05	00:02	00:03	00:03	00:02	00:04	00:20	00:12	00:09	00:48	03:29	Parafusadora
Somatório	05:32	01:13	03:03	01:07	04:02	01:00	03:18	19:08	00:50	01:02	02:57	00:50	00:54	00:56	00:54	01:47	09:14	05:20	03:12	16:18	22:37	Parafusadora
Média	00:16	00:03	00:09	00:03	00:12	00:03	00:09	00:55	00:02	00:03	00:08	00:02	00:03	00:03	00:03	00:05	00:26	00:15	00:09	00:47	03:56	Parafusadora
Min Rep.	00:12	00:02	00:07	00:02	00:09	00:02	00:08	00:35	00:02	00:02	00:05	00:02	00:02	00:02	00:02	00:04	00:17	00:11	00:11	00:43	03:00	Parafusadora

**Cycle time-
Montagem com
o gabarito e a
parafusadora**

$$\sum_{k=0}^n (Cycle\ time)$$

Cálculo do MRP



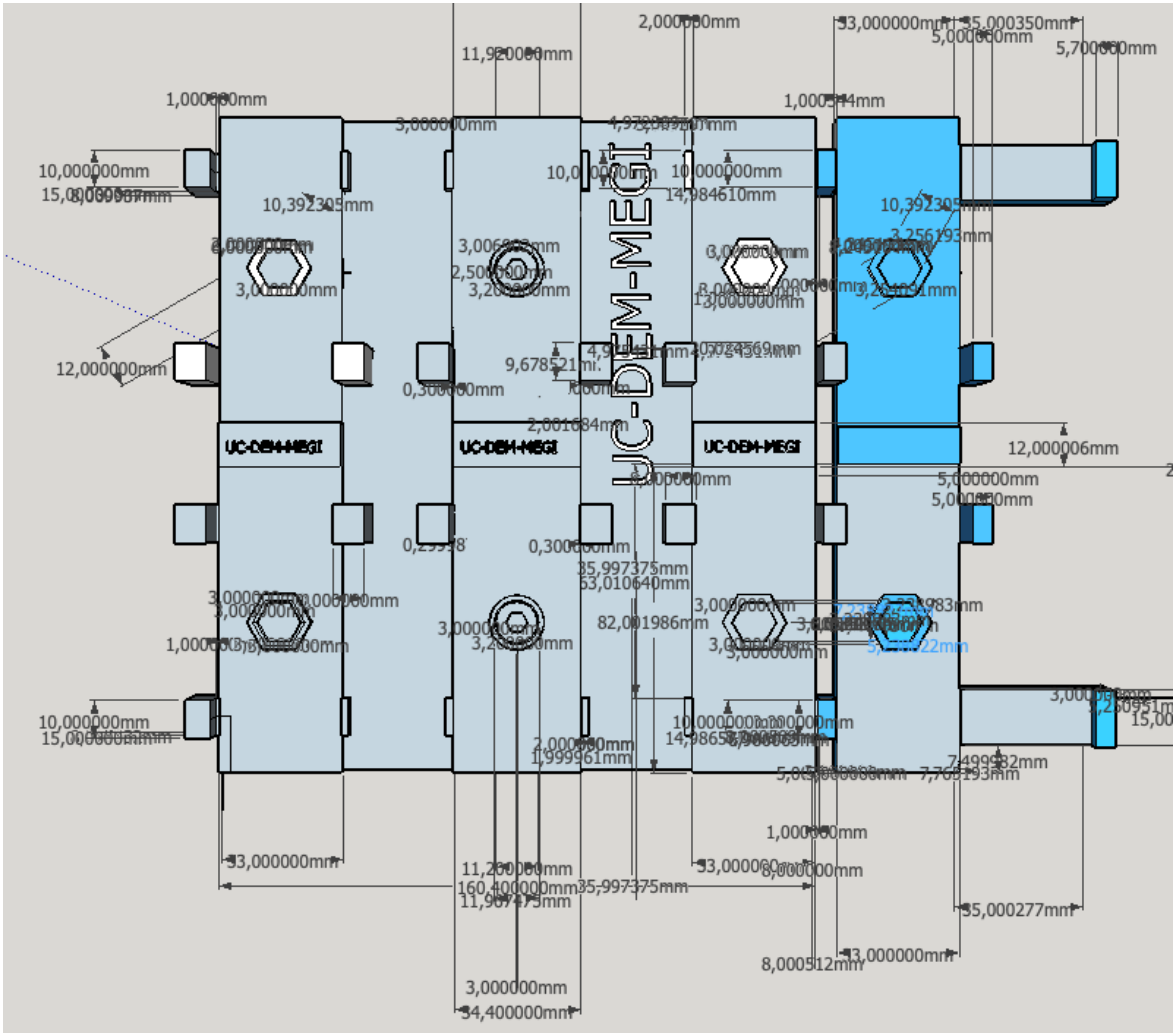
Taloxa	p2	Ps	j1	j2	j3	t4	p1	j4	b1	t1	total
Manípulo	2	2	4			3					11
Quadruplo	8	8	8	2	2	3				2	33
Base							2	2	1		5
Total de peças necessárias para um produto	10	10	12	2	2	6	2	2	1	2	49
Disponível (stock de segurança)	170	170	204	34	35	102	34	34	17	34	
Unidades para produção <=17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Resto (stock)	79	177	12	2	1	0	4	9	5	2	
Stock Inicial	249	347	216	36	36	102	38	43	22	36	
	3490	3490	4188	698	698	2094	698	698	349	698	
Necessidades Bruta	3411	3313	4176	696	697	2094	694	689	344	696	

Semanas	1	2	3	4	5	6
P2						
Necessidades Bruta		1137	1137	1137		
Recebimento programado		888	1137	1137		
Stock	249	0	0	0		
Plano de lançamento	888	1137	1137			
Semanas	1	2	3	4	5	6
P.S						
Necessidades Bruta		1103	1103	1105		
Recebimento programado		756	1103	1105		
Stock	347	0	0	0		
Plano de lançamento	756	1103	1105			
Semanas	1	2	3	4	5	6
J1						
Necessidades Bruta						
Recebimento programado		828	1044	1044	1044	
Stock	216	0	0	0	0	
Plano de lançamento	828	1044	1044	1044		
Semanas	1	2	3	4	5	6
J2						
Necessidades Bruta		132	132	132		
Recebimento programado		96	132	132		
Stock	36	0	0	0		
Plano de lançamento	96	132	132			
Semanas	1	2	3	4	5	6
J3						
Necessidades Bruta		232	232	233		
Recebimento programado		196	232	233		
Stock	36	0	0	0		
Plano de lançamento	196	232	233			

Semanas	1	2	3	4	5	6
T4						
Necessidades Bruta		698	698	698		
Recebimento programado		596	698	698		
Stock	102	0	0	0		
Plano de lançamento	596	698	698			
Semanas	1	2	3	4	5	6
P1						
Necessidades Bruta		231	231	232		
Recebimento programado		203	231	232		
Stock	28	0	0	0		
Plano de lançamento	203	231	232			
Semanas	1	2	3	4	5	6
J4						
Necessidades Bruta		228	228	229		
Recebimento programado		185	228	229		
Stock	43	0	0	0		
Plano de lançamento	185	228	229			
Semanas	1	2	3	4	5	6
B1						
Necessidades Bruta		114	113	115		
Recebimento programado		92	113	115		
Stock	22	0	0	0		
Plano de lançamento	92	113	115			
Semanas	1	2	3	4	5	6
T1						
Necessidades Bruta		232	232	232		
Recebimento programado		196	232	232		
Stock	36	0	0	0		
Plano de lançamento	196	232	232			

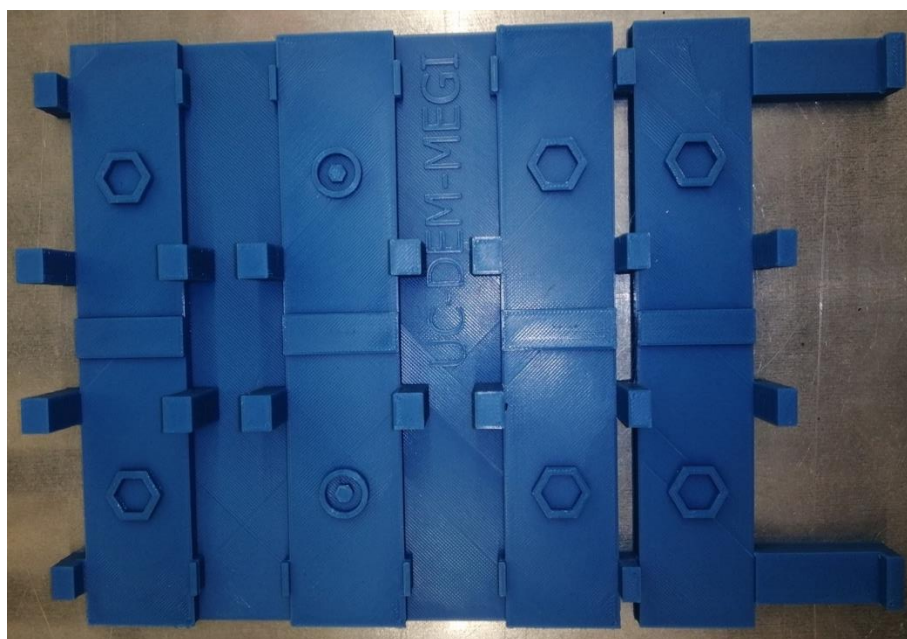
APÊNDICE B

Projeto do gabarito



Cálculo do *Takt time*

Turno de trabalho diário	2	turnos	Demanda Diária	145	UNIDADES
Horas por turnos	8	horas	Tempo disponível diário	51600	
Tempo disponível	480	minutos	Takt Time	356	Segundos /unidade
Intervalo por turno	20	minutos			
Almoço por turno	30	minutos			
Tempo de trabalho por dia	430	minutos			
Tempo de trabalho por turno	25800	Segundos			
Tempo de trabalho por dia	51600	Segundos			



Gabarito impresso, versão final.

