

***Lean Manufacturing vs Indústria 4.0:
Concorrentes ou Complementares?
Análise de Casos de Estudo***

Versão final após discussão

Cristiana Maria Amaral Cruz

Dissertação para obtenção de grau de mestre
Engenharia e Gestão Industrial
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos
Coorientadora: Prof. Doutora Tânia Daniela Felgueiras de Miranda Lima

agosto de 2021

Dedicatória

Aos meus pais.

Agradecimentos

Quero deixar um agradecimento a todos os que me acompanharam nesta etapa pelo apoio prestado.

Aos meus pais por esta oportunidade que me proporcionaram mesmo nas maiores dificuldades, por todo o esforço que fizeram para que isto fosse possível.

Ao professor Fernando Santos por ter aceitado o convite para orientador e por todo o apoio e dedicação que mostrou ao longo desta etapa.

À equipa da empresa 4iTec Lusitânia em especial ao Engenheiro Carlos Mesquita por toda a ajuda e apoio que me deu.

Aos meus amigos.

A todos, muito obrigada!!

Resumo

A Indústria 4.0 é conhecida pelo desenvolvimento e aplicação de tecnologias inovadoras e disruptivas em ambientes industriais. Estas tecnologias possibilitam um aumento de produtividade, flexibilidade e adaptabilidade dos processos e um relacionamento mais próximo com os clientes e com as demais empresas da cadeia de valor. Cada vez mais se verifica uma maior variedade de produtos, mas em contrapartida verifica-se uma diminuição dos tempos de ciclo de produção. Por forma, a responder de rapidamente a todos os pedidos, será necessária uma maior flexibilidade dos processos industriais. Esta flexibilidade não será conseguida usando a indústria tradicional, será necessário recorrer a ferramentas da indústria 4.0. A filosofia *Lean*, mais que uma ferramenta, pode ser considerada uma cultura que contribui para uma melhoria contínua de processos, onde as pessoas são um fator de principal relevância.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a relação existente entre o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0, pretendendo-se aferir se existe uma complementaridade ou concorrência entre ambos. Para isso foram analisados quatro casos práticos de aplicação dos mesmos.

Através da análise dos resultados obtidos nos casos práticos, verificou-se que a conjugação da robotização com os princípios da filosofia *Lean* permitiu eliminar os desperdícios e libertar operadores podendo-se assim ter os mesmos *outputs*, mas com menos recursos. Assim, conclui-se que a Indústria 4.0 e o *Lean Manufacturing* apresentam uma relação de complementaridade. Com a junção destes dois conceitos, as organizações poderão obter benefícios que lhes permitirão utilizar os seus recursos de forma mais eficiente, melhorar a produtividade e a qualidade dos seus processos e produtos.

Palavras-chave

Lean Manufacturing; Indústria 4.0; Ambiente industrial; Automatização de processos

Abstract

Industry 4.0 is known for the development and application of innovative and disruptive technologies in industrial environments. These technologies enable an increase in productivity, flexibility and adaptability of processes and a closer relationship with customers and other companies in the value chain. Increasingly, there is a greater variety of products, but on the other hand, there is a decrease in production cycle times. In order to respond quickly to all requests, greater flexibility in industrial processes will be required. This flexibility will not be achieved using the traditional industry, it will be necessary to use tools from Industry 4.0. Lean philosophy, more than a tool, can be considered a culture that contributes to the continuous improvement of processes, where people are a major factor.

This work aims to study the relationship between Lean Manufacturing and Industry 4.0, intending to assess whether there is a complementarity or competition between them. For this, four practical cases of their application were analyzed.

Through the analysis of the results obtained in the practical cases, it was verified that the combination of robotization with the principles of the Lean philosophy allowed eliminating wastes and freeing operators, thus being able to have the same outputs, but with less resources. Thus, it is concluded that Industry 4.0 and Lean Manufacturing have a complementary relationship. With the combination of these two concepts, organizations will be able to obtain benefits that will allow them to use their resources more efficiently, improve the productivity and quality of their processes and products.

Keywords

Lean Manufacturing; Industry 4.0; Industrial environment; Process automation

Índice

Dedicatória	iii
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Lista de Acrónimos	xvii
Capítulo 1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia	2
1.4 Estrutura da Dissertação	2
Capítulo 2. <i>Lean Manufacturing</i>	5
2.1 Origem da <i>Lean Manufacturing</i>	5
2.2 Definição da <i>Lean Manufacturing</i>	6
2.3 <i>Toyota Production System</i>	6
2.4 Objetivos	8
2.5 Desperdícios	9
2.6 Princípios	11
2.7 Sistema <i>Push</i> vs Sistema <i>Pull</i>	12
2.8 Ferramentas	14
2.8.1 <i>Kaizen</i>	14
2.8.2 5S	15
2.8.3 PDCA	17
2.8.4 <i>Kanban</i>	18
2.8.5 JIT	19
Capítulo 3. Indústria 4.0	21
3.1 Definição	21
3.2 Revoluções Industriais	21
3.3 Características	22
3.4 Tecnologias	23
3.4.1 <i>Big Data Analytics</i>	23
3.4.2 <i>The Internet of Things (IoT)</i>	24
3.4.3 <i>Cyber-Security</i>	24
3.4.4 <i>The Cloud</i>	25
3.4.5 <i>Additive Manufacturing</i>	25

3.4.6 <i>Augmented Reality</i>	25
3.4.7 <i>Robotics</i>	26
3.5 Vantagens	26
Capítulo 4. Contextualização da Empresa.....	29
4.1 Caracterização da Empresa.....	29
4.2 Instalações e localização.....	29
4.2 Organograma.....	30
Capítulo 5. Descrição de Casos de Estudo.....	31
5.1 Caso de estudo nº1: Viragem automática de folhas de LVT	31
5.1.1 Descrição do processo	31
5.1.2 Apresentação do problema	32
5.1.3 Descrição dos dados de entrada e saída.....	32
5.1.4 Apresentação da solução.....	35
5.2 Caso de estudo nº2: Viragem automática de folhas de SPC.....	35
5.2.1 Descrição do processo	35
5.2.2 Apresentação do problema	36
5.2.3 Descrição dos dados de entrada e saída	36
5.2.4 Apresentação da solução	40
5.3 Caso de estudo nº3: Colocação automatizada de folhas de cortiça.....	42
5.3.1 Descrição do processo produtivo	42
5.3.2 Apresentação do problema	44
5.3.3 Descrição dos dados de entrada e saída	44
5.3.4 Apresentação da solução	47
5.4 Caso de estudo nº4: <i>Charriot</i>	48
5.4.1 Descrição do processo.....	48
5.4.2 Apresentação do problema.....	49
5.4.3 Descrição dos dados de entrada e saída	51
5.4.4 Apresentação da Solução.....	51
5.5 Relação entre <i>Lean Manufacturing</i> e Indústria 4.0	52
Capítulo 6. Conclusão.....	58
Bibliografia	60

Lista de Figuras

Figura 1-Casa do TPS (Adaptado de Liker, 2004).....	7
Figura 2-Sete desperdícios Lean de uma organização (Adaptado de Kanbanize, 2021) 11	
Figura 3-Sistema Push.....	12
Figura 4-Sistema Pull	12
Figura 5-"Guarda-Chuva" do Kaizen (Adaptado de Imai, 1990)	15
Figura 6-Os 6s (5+1) e a eliminação do desperdício (Pinto, 2014)	17
Figura 7-Ciclo de PDCA.....	18
Figura 8-Pilares da indústria 4.0 (Nayyar and Kumar, 2019)	23
Figura 9-Localização da empresa (Google Maps, 2021)	29
Figura 10-Organograma da empresa 4iTec Lusitânia (4iTEC Lusitânia, 2021).	30
Figura 11-Paleta LVT vinda do fornecedor	31
Figura 12-Viragem das placas de LVT	32
Figura 13-Faces da placa de LVT	33
Figura 14-Paleta de SPC vinda do fornecedor	35
Figura 15- Faces das placas de SPC	36
Figura 16-Disposição do SPC na paleta final.....	39
Figura 17-Esquemática do mecanismo de solução	40
Figura 18-Laminagem dos blocos de cortiça	42
Figura 19-Paleta com folhas de cortiça.....	43
Figura 20-Colocação da folha de cortiça na base HDF	43
Figura 21-Produto final	44
Figura 22-Tipos de cortiça.....	45
Figura 23-Ilustração da colocação das folhas de cortiça nas respectivas bases HDF.....	46
Figura 24-Esquemática do mecanismo de solução.....	47
Figura 25-Ilustração do <i>charriot</i>	49
Figura 26-Estação elevatória.....	50
Figura 27-Percurso da situação atual	50
Figura 28-Conjunto caixa+ <i>charriot</i>	51
Figura 29-Percurso dos AGV's na situação futura	52

Lista de Tabelas

Tabela 1-Vantagens e desvantagens dos sistemas <i>Push</i> e <i>Pull</i> (Adaptado de Simchi-Levi and Kaminsky, 2001).....	13
Tabela 2-Dimensões do LVT 1200	33
Tabela 3- Tabela resumo de dados de entrada e de saída	34
Tabela 4- Dimensões das placas de SPC	37
Tabela 5- Tabela resumo dos dados de entrada e de saída	39
Tabela 6-Tipos de cortiça e respectivas dimensões	45
Tabela 7-Tabela resumo dos dados de entrada e de saída	51
Tabela 8-Descrição de desperdícios presentes no processo atual e processo automatizado	53
Tabela 9-Fatores de comparação entre a <i>Lean Manufacturing</i> e Indústria 4.0	56

Lista de Acrónimos

5S	<i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke</i>
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
IoE	<i>Internet of Everything</i>
IoM	<i>Internet of Manufacturing</i>
IoS	<i>Internet of Services</i>
IoP	<i>Internet of People</i>
i4.0	<i>Indústria 4.0</i>
JIC	<i>Just-In-Case</i>
JIT	<i>Just-In-Time</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

Capítulo 1. Introdução

Neste capítulo é apresentado o enquadramento do tema em estudo, os objetivos gerais e específicos a atingir com o presente trabalho, a metodologia utilizada para o seu desenvolvimento e a estrutura da presente dissertação.

1.1 Enquadramento

O aumento da pressão competitiva nos mercados atuais tem levado as empresas a focarem-se no aumento da eficiência das operações para entregarem os seus produtos em maior quantidade e com melhor qualidade possível, com custos iguais ou inferiores. A criação de valor para o cliente e redução ou eliminação do desperdício são dois princípios básicos da filosofia *Lean*. A implementação desta filosofia de gestão na produção é um meio que permite às organizações atingirem os objetivos pretendidos, para uma melhor competitividade do mercado. Esta filosofia, juntamente com as várias metodologias que lhe estão associadas, permite a uma organização focar-se na racionalização e na eliminação/redução de todas as atividades que não agregam valor aos produtos. Consequentemente, com a redução do desperdício, pode-se verificar um aumento da flexibilidade da produção, assim como da qualidade dos produtos.

O maior impacto a ser causado pelo conceito designado Indústria 4.0 será uma mudança que afetará o mercado como um todo: a criação de novos modelos de negócios (Freitas, Fraga and Souza, 2016).

A Indústria 4.0 liga a produção às tecnologias de informação e comunicação, mescla os dados do produto e do processo com os dados da máquina, permitindo que as máquinas comuniquem umas com as outras (Corallo, Lazoi and Lezzi, 2020).

Deste modo, existe um conjunto de técnicas, ferramentas e tecnologias associadas à Indústria 4.0 que permitem a melhoria dos processos numa organização. Mas muitas vezes falta a parte inicial do processo de melhoria, onde são efetuados os levantamentos do estado atual da organização, através de análise de processos e que é fundamental para a tomada de decisão de quais técnicas, ferramentas ou tecnologias se devem a implementar.

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é estudar se a *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 são complementares ou concorrentes.

Para concretizar este objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Elaboração de uma revisão bibliográfica sobre a filosofia Lean e as suas respectivas ferramentas, a Indústria 4.0 e as suas tecnologias.
- Recolha de dados que permitam caracterizar os processos produtivos atuais dos casos de estudo.
- Análise dos dados recolhidos, com o propósito de compreender quais são os principais desperdícios existentes no sistema produtivo e quais são os pontos suscetíveis de melhoria.
- Seleção das tecnologias da Indústria 4.0 passíveis de serem implementadas, tendo como fim a otimização da produção.
- Implementação das propostas de melhoria para a otimização da produção.
- Análise dos resultados obtidos e comparação da situação inicial com a situação final.

1.3 Metodologia

Como se trata de uma dissertação em ambiente industrial, foi realizada uma revisão bibliográfica com recurso a artigos científicos, livros e sites de modo a comprovar a veracidade da informação.

Numa segunda parte foi realizada a parte prática na empresa na qual foram postos em prática todos os conhecimentos adquiridos na revisão bibliográfica, anteriormente realizada de modo a alcançar os objetivos propostos.

A pesquisa que foi utilizada é do tipo quantitativo, seguindo o método do estudo de caso.

1.4 Estrutura da Dissertação

Para atingir os objetivos definidos, a dissertação foi dividida em 6 capítulos.

Capítulo 1: efetua-se uma introdução ao tema, com definição dos principais objetivos a serem alcançados e a metodologia que será utilizada na análise dos mesmos. Por fim é descrita a estrutura desta dissertação.

Capítulo 2: é apresentada a pesquisa bibliográfica onde se fez um estudo sobre a filosofia de gestão *Lean Manufacturing*, estão descritos também todos os desperdícios que lhe estão associados, os princípios e por fim algumas ferramentas que fazem parte desta filosofia.

Capítulo 3: é apresentada uma revisão bibliográfica acerca da Indústria 4.0, onde estão descritas as 4 revoluções industriais, e também os pilares que lhe estão associados. Deste modo, a revisão bibliográfica foi elaborada de acordo com os temas em que a dissertação irá incidir.

Capítulo 4: encontra-se a apresentação da empresa, a respetiva localização e por fim o organograma.

Capítulo 5: são identificados e expostos os 4 casos práticos, descrição do processo produtivo de cada um deles, apresentação do problema em causa, bem como os dados de entrada e saída que lhe estão associados, e por último a apresentação da solução referente a cada caso prático. Ainda no capítulo 5 é descrita a relação existente entre a filosofia *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0, concluindo assim qual a relação existente.

Capítulo 6: são apresentadas as conclusões do trabalho efetuado.

Capítulo 2. *Lean Manufacturing*

Neste capítulo será apresentado a origem do *Lean*, o sistema de produção da Toyota, os princípios, objetivos e desperdícios associados à filosofia *Lean*. E por último, algumas das ferramentas associadas a esta filosofia.

2.1 Origem da *Lean Manufacturing*

As raízes do *Lean* podem ser encontradas na empresa Japonesa Toyota. As origens do Sistema de Produção Toyota (TPS) remontam ao início do século XX. Os pais do sistema foram Sakichi Toyoda e o seu filho Kiichiro Toyoda, bem como Taiichi Ohno, um engenheiro de produção (Dekier, 2012).

A *Lean Manufacturing* foi criada em 1991 por James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Roos do Instituto de Tecnologia de Massachussets no seu livro “A máquina que mudou o mundo”, em que foram comparadas as empresas japonesas e as americanas (Dekier, 2012).

Muitas das ideias incluídas no conceito da *Lean Manufacturing* remontam a Frederic Taylor e aos seus conceitos de *Scientific Management*, por volta de 1910. Estes conceitos foram continuamente desenvolvidos e melhorados durante os 50 anos seguintes por Frank e Lilian Gilbreth, Henry Ford, William E. Deming, entre outros. Assim, o conceito da *Lean Manufacturing* surgiu no Japão após a segunda guerra mundial (Sinfic, 2007).

O termo “*Lean*” foi usado pela primeira vez por John Krafcik na sua tese para descrever o sistema de produção da Toyota. O *Lean* tornou-se um conceito desenhado para descrever as múltiplas atividades desenvolvidas pelas empresas japonesas, que explicavam as suas vantagens elevadas de competitividade naquela época (Alkhoraif et al. 2019).

O TPS é um sistema de produção desenvolvido em 1947 por Taiichi Ohno em que o seu principal objetivo consiste em preparar as organizações para agir de forma rápida as constantes mudanças e procuras do mercado, atuando ao nível da competitividade, flexibilidade, custo e qualidade (Perna and Ferraz, 2016).

2.2 Definição da *Lean Manufacturing*

A *Lean Manufacturing* é uma abordagem sistemática para identificar e reduzir o desperdício (atividades sem valor agregado) por meio de melhoria contínua. Os desperdícios em termos de indústria são definidos como “tudo o que não agrega valor ao produto final na perspectiva do cliente” (Dixit, Singh and Dave, 2015), pois de acordo com os princípios *Lean*, tudo o que não agrega valor para o consumidor é alvo de eliminação.

São várias as definições dadas a esta filosofia, mas independentemente de qual seja a definição dada, a mensagem é que o foco contínuo em atividades de agregação de valor por meio de eliminação de desperdícios e conexão dos processos de fabricação numa linha de produção reduzirá os custos de produção e aumentará a competitividade de uma organização (Engelund, Breum and Friis, 2008).

A implementação desta filosofia permite criar uma envolvimento de todos os colaboradores podendo assim haver um ambiente mais estável.

2.3 Toyota Production System

Os primeiros passos do TPS foram dados por Taiichi Ohno em 1947. Trata-se de um sistema de produção em que o principal objetivo consiste em preparar as organizações para agir de forma rápida às constantes mudanças e procuras do mercado, atuando ao nível da competitividade, flexibilidade, custos e qualidade (Perna and Ferraz, 2016). Esta é uma das correntes que está na origem do pensamento *Lean*.

O TPS foi criado com a finalidade de produzir um fluxo contínuo, que não dependesse de longos ciclos de produção, e na premissa de que apenas uma pequena parte do tempo total e esforço num ciclo de produção acrescentava valor para o cliente final. No TPS existe um envolvimento de todas as pessoas apostando na aprendizagem e na vontade delas em melhorarem continuamente e usarem eficazmente as metodologias de redução do desperdício. Efetivamente são as pessoas que operam, pois, são mais do que as próprias metodologias, o agente principal de redução do desperdício (Liker, 2004).

Fujio Cho, ex-diretor da Toyota, desenhou uma representação simples do TPS, denominada a “Casa do TPS” conforme ilustrado na figura 1.

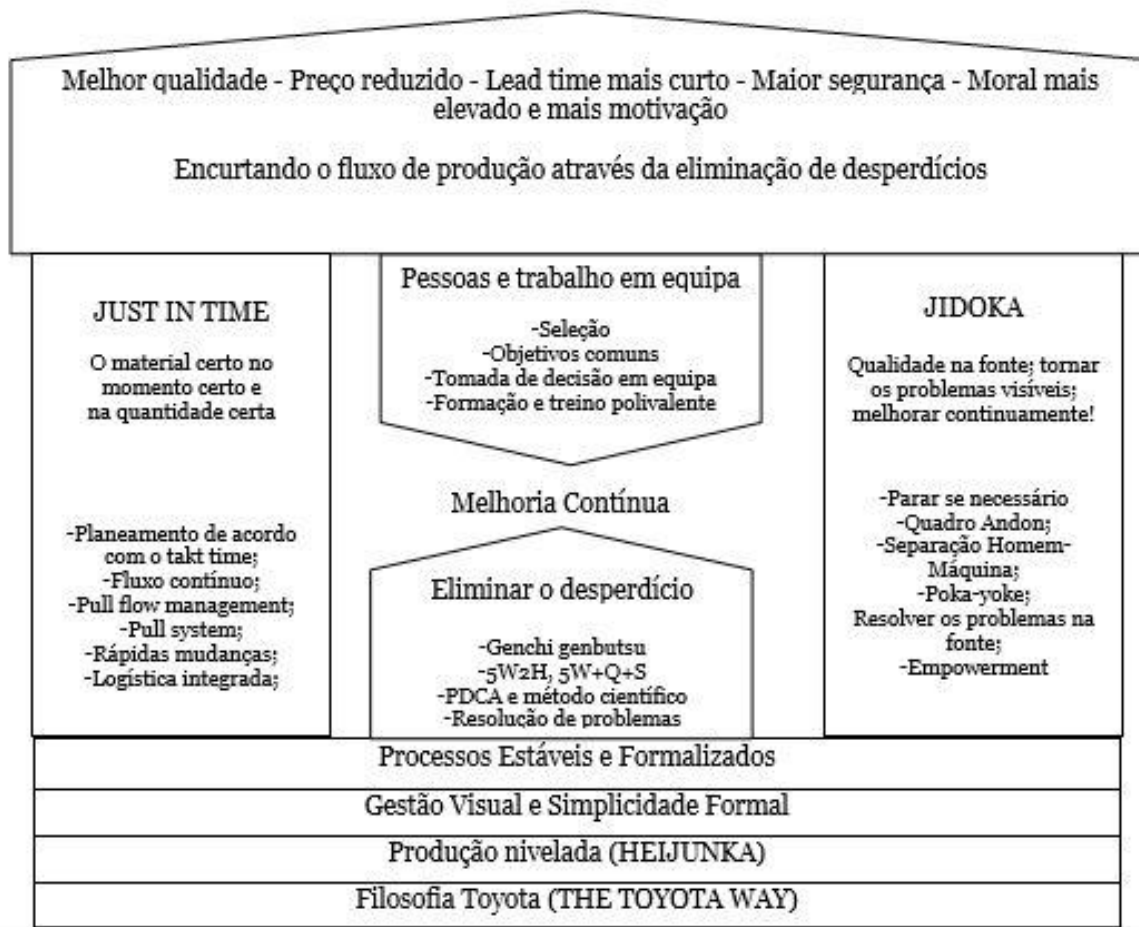


Figura 1-Casa do TPS (Adaptado de Liker, 2004)

Como qualquer casa, a Toyota projetou a sua, da base para o topo, sendo fundamentais os pilares para a sustentação de toda a filosofia numa organização.

Assim, no telhado encontram-se os objetivos de melhor qualidade, menor custo e menor tempo de execução. Na sustentação do telhado encontram-se dois pilares, o *Just-In-Time* e o *Jidoka*.

O *Just-In-Time* (JIT) significa remover, tanto quanto possível, o *stock* usado para proteger as operações contra problemas que possam surgir na produção, determina que tudo deve ser produzido, na quantidade certa, no momento certo evitando assim o excesso de *stock*. Associado à automatização, encontra-se o *Jidoka*, onde o processo de produção é interrompido quando ocorre um problema, mas apesar de este método estar associado à automatização, é necessário haver um toque humano na determinação da solução da causa e na resolução do problema, ou seja, a máquina é responsável pela operação, mas a monitorização é realizada por pessoas (Liker,2004).

No centro do sistema estão as pessoas, porque somente por meio de melhoria contínua a operação pode atingir a estabilidade necessária. Todas as pessoas inerentes à organização deverem ser treinadas para lidar com o desperdício e deste modo resolver os problemas na raiz perguntando porque é que o problema realmente ocorre, pois, a solução dos problemas está no local onde realmente tudo acontece, no *Gemba* (chão de fábrica) (Liker, 2004).

Na base da casa está a estabilidade, ou seja, os elementos fundamentais que garantem o bom funcionamento do sistema: *Heijunka*, padronização do trabalho, gestão visual e a filosofia Toyota. Para existir uma estabilidade no sistema e manter o *stock* mínimo, é necessário que a produção esteja nivelada, estando isto associado ao método *Heijunka*.

A padronização do trabalho, como o nome indica, é a criação de padrões para a realização de uma operação. Deste modo, os trabalhadores já sabem como tudo deve ser feito, em quanto tempo precisa de ser feito e quantos recursos devem utilizar (Liker, 2004).

A partir da união entre os pilares e a base, é possível atingir todos os objetivos, atendendo assim ao cliente da melhor forma possível.

2.4 Objetivos

Como descrito anteriormente, a *Lean Manufacturing* está direcionada para a otimização dos processos e procedimentos através da redução contínua de desperdícios, assim Womack, Jones and Ross (1990) definiram os seguintes objetivos:

- Eliminação dos desperdícios;
- Melhoria da qualidade;
- Redução dos tempos de preparação;
- Tempo de produção reduzido;
- Redução dos custos de fabrico e de transporte de produtos;
- Inexistência de operações que não acrescentem valor;
- Inexistência de defeitos;
- Nível de stock reduzido;
- Envolvimento das pessoas nos processos;
- Produção de produtos necessários.

2.5 Desperdícios

Quando o TPS estava a ser desenvolvido, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo identificaram sete categorias de desperdícios, ilustrados na figura 2 e que de seguida se enumeram (Pinto, 2014):

1. Excesso de produção: este desperdício é o oposto da produção JIT, ou seja, JIC (*Just-In-Case*). É produzido mais do que é necessário, quando não é necessário e em quantidades desnecessárias. Existem algumas consequências que estão associadas a este tipo de desperdício tais como, a antecipação das compras de peças e materiais, o aumento de *stocks*, entre outros. As principais causas associadas a este tipo de desperdício são grandes lotes de produção, necessidades de rentabilizar esforços feitos em atividades que não acrescentam valor como transportes, inspeções e *setups*.
2. Esperas: refere-se ao tempo perdido por pessoas e equipamentos quando se encontram à espera de algo. As causas mais frequentes associadas a este tipo de desperdício estão relacionadas com a entrega de fornecedores (internos ou externos), obstrução do fluxo produtivo (avarias, acidentes, defeitos de qualidade).
3. Transporte e movimentações: qualquer movimentação ou transferência de materiais sejam eles partes montadas ou produtos finais é considerado transporte. Os sistemas de transporte e movimentações são grandes causadores de efeitos perversos nas empresas. Além de aumentarem os custos, reduzem o espaço livre na empresa e aumentarem o tempo de fabrico, ainda são causadores de danos ocorridos nos produtos fazendo com que estes se danifiquem nas movimentações. Para diminuir os transportes e movimentações desnecessárias é fundamental corrigir os *layouts*, fazer alterações ao planeamento e optar por sistemas de transporte mais pequenos, rápidos e modulares. Deste modo, são usadas metodologias para reduzir ou eliminar as movimentações e transportes desnecessários, tais como, utilizar células de fabrico, ter uma produção fluída, existir uma flexibilidade operacional, entre outros.
4. Desperdício do próprio processo: qualquer operação e processo efetuado que não seja necessário é considerado desperdício do processo. O aumento dos defeitos pode estar relacionado com operações ou processos incorretos. Todos os processos são causadores de perda, contudo estes podem ser eliminadas através

de esforços de automatização, de formação de colaboradores ou pela substituição de processos por outros mais eficientes.

5. Stocks: Uma das melhores formas de encontrar desperdícios é procurar os pontos onde existe tendência para se formarem *stocks*. As causas mais comuns associadas à formação de *stocks* são: elevados tempos de mudança de ferramentas, fraco *layout* de equipamentos o que origina armazenamentos ou transportes, e problemas relacionados com a qualidade. Deste modo, existem simples contributos que podem contribuir para a eliminação dos *stocks* tais como, reforço do planeamento e controlo das operações, regulação do fluxo de operações, produção puxada e melhoria da qualidade dos processos.
6. Defeitos: é um exemplo de desperdício criado por problemas da qualidade. Também é considerado como desperdício, os custos de inspeção, as queixas dos clientes e as reparações. Em consequência, a produtividade diminui e os custos dos produtos e serviços aumenta. As causas mais comuns dos defeitos estão associadas a transporte e movimentação de materiais, falhas e erros humanos, ausência de padrões de autocontrolo e de inspeção. Assim, de forma a tentar eliminar os defeitos são implementadas operações padrão por forma a uniformizar processos e produtos, utilizar equipamentos de deteção e quando possível automatizar determinadas atividades.
7. Trabalho desnecessário: todo o tipo de movimentos que não são necessários para executar operações. Estes podem estar associados a operações isoladas, a desmotivação das pessoas e a falta de formação de pessoas. Assim, de modo a eliminar o trabalho desnecessário pode-se apostar na formação dos colaboradores, conseguindo-se de forma gradual um fluxo contínuo da produção.



Figura 2-Sete desperdícios Lean de uma organização (Adaptado de Kanbanize, 2021)

2.6 Princípios

De forma a eliminar os desperdícios, Womack and Jones (2003), definiram 5 princípios representando assim um ciclo contínuo:

Especificação do valor: o reconhecimento do valor do produto ou serviço é feito pelo cliente. Segundo Pinto (2014, p. 21), “valor é, portanto, mais do que a compensação do dinheiro dado em troca. Valor é tudo aquilo que justifica a atenção, o tempo e o esforço que dedicamos a algo”.

Identificação da cadeia de valor: refere-se ao conjunto de etapas necessárias à fabricação do produto ou serviço. Ao longo da cadeia de valor serão identificados desperdícios que não agreguem valor tais como, tempos desnecessários, métodos ineficientes e atividades que não criam valor, mas são necessárias.

Criação de um fluxo: o fluxo engloba pessoas, materiais, informação. Torna-se necessário criar um fluxo de maneira a que sejam reduzidos tempos de produção, tempos e processamento.

Pull System: deixar o cliente “puxar” os produtos, evitando assim que as empresas empurrem aquilo que elas consideram necessário.

Perfeição: incentivar a melhoria contínua em todos os níveis de organização procurando assim ouvir o cliente. Para se conseguir ter uma boa produtividade e passar uma boa

imagem ao cliente tendo assim a sua fidelização, é necessário apostar na formação dos colaboradores, definir padrões e haver um acompanhamento de todo o processo.

No entanto, estes 5 princípios apresentam algumas limitações, é considerada apenas uma cadeia de valor existindo na realidade uma cadeia de valor para cada *stakeholder*. Outra limitação é o facto de estes princípios conduzirem a organização a entrar em ciclos infinitos para tentar reduzir o desperdício caindo assim no esquecimento a criação de valor através da inovação de produtos, serviços e processos. Assim, de maneira a tentar combater estas lacunas foram criados recentemente mais dois princípios (Pinto,2014).

Conhecer os *stakeholders*: para que uma organização tenha um bom futuro não será suficiente apenas se centrar na satisfação do cliente, também é necessário que esta conheça com detalhe todos os grupos que façam parte dela (Pinto, 2014).

Inovar sempre: é necessário criar produtos, novos serviços e melhorar processos para criar valor (Pinto, 2014).

2.7 Sistema *Push* vs Sistema *Pull*

Por volta da década de 1980, os sistemas de produção foram divididos em duas categorias: sistema *Push* (figura 3) e sistema *Pull* (figura 4) (Simchi-Levi and Kaminsky, 2001).



Figura 3-Sistema Push

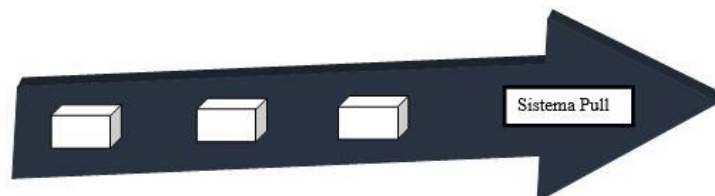


Figura 4-Sistema Pull

Grande parte das organizações utilizam estratégias de produção *Push* e/ou *Pull* na definição da sua cadeia de abastecimento. Uma empresa que utiliza a estratégia *Push*, as decisões de produção são baseadas em previsões de longo prazo. Esta estratégia tem como consequência o facto de as empresas não conseguirem se adaptar às mudanças operadas no mercado, e muitas vezes se verem confrontadas com um *stock* obsoleto devido às alterações no comportamento dos consumidores (Simchi-Levi and Kaminsky, 2001).

Na estratégia *Pull*, a produção e a distribuição são delineadas com base em encomendas reais por parte dos consumidores, ou seja, a produção é orientada de acordo com a procura do cliente. Neste tipo de estratégia, a empresa responde a encomendas específicas do consumidor, não detendo qualquer tipo de *stock*. Nem sempre se torna prático implementar um sistema *Pull* em toda a cadeia de abastecimento pois os prazos de entrega podem-se tornar mais longos (Simchi-Levi and Kaminsky, 2001).

Contudo, a estes dois sistemas estão associados algumas vantagens e desvantagens que se encontram na tabela seguinte.

Tabela 1-Vantagens e desvantagens dos sistemas *Push* e *Pull* (Adaptado de Simchi-Levi and Kaminsky, 2001)

	Vantagens	Desvantagens
<i>Push</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior facilidade em cumprir prazos de entrega; ▪ Os fornecedores conseguem controlar o fluxo de produção; ▪ Indicado para cadeias de produção baseada em projetos; ▪ Melhores resultados na produção repetitiva. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Obsolescência de produtos; ▪ Criação de desequilíbrio na dinâmica oferta-procura; ▪ Criação de <i>stock</i>; ▪ Dificuldade na identificação de falhas; ▪ Maior custo operacional.
<i>Pull</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cadeia de produção mais fluída; ▪ Redução de <i>stock</i>; ▪ Redução de desperdícios; ▪ Entrega de produtos mais personalizados; ▪ Redução do <i>Lead Time</i> (tempo de produção). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução da iniciativa do mercado; ▪ Redução da pressão sobre a concorrência; ▪ Aumento do tempo de produção; ▪ Os prazo de entrega podem não ser cumpridos; ▪ Podem ser necessários reajustes no processo produtivo.

2.8 Ferramentas

Nesta secção são apresentadas algumas das inúmeras ferramentas da *Lean Manufacturing*.

2.8.1 Kaizen

Originário do Japão, o Kaizen é uma ferramenta da filosofia *Lean* que significa melhoria contínua. Este conceito, significa também melhoria contínua na vida pessoal, social e profissional (Kaizen Institute, 2021).

Trata-se de uma estratégia onde todos os colaboradores estão envolvidos e empenhados na melhoria da organização trabalhando assim de forma proativa (Nwanya and Oko, 2019).

Existem 5 princípios que estão associados ao *Kaizen* (Kaizen Institute, 2021):

- Conhecer o cliente: é necessário identificar os interesses do cliente para melhorar a sua experiência;
- Criar fluxo: todos os envolvidos na organização devem procurar eliminar o desperdício e criar valor;
- Ir ao Gemba: o valor é criado onde todas as ações acontecem;
- Capacitar as pessoas: definir os mesmos objetivos para as suas equipas e proporcionar as ferramentas e um sistema para os alcançar;
- Ser transparente: o desempenho e as melhorias devem ser tangíveis e visíveis.

Segundo Imai (1990), existem 10 mandamentos a serem seguidos na metodologia *Kaizen*:

- O desperdício deve ser eliminado;
- Melhorias graduais devem ser feitas continuamente;
- Todos os colaboradores devem estar envolvidos;
- As melhorias devem ser feitas sem a necessidade de grandes investimentos;
- Aplica-se em qualquer lugar, e não somente dentro da cultura japonesa;
- Apoia-se numa gestão visual, numa total transparência de procedimentos, processos, valores, torna os problemas e os desperdícios visíveis aos olhos de todos;
- Focaliza a atenção no local onde se cria realmente valor, no chão de fábrica;
- Orienta-se para os processos;

- Dá prioridade às pessoas, acredita que o esforço principal de melhoria deve vir de uma mentalidade e estilo de trabalho das pessoas (orientação pessoal para a qualidade, trabalho em equipa, cultura de conhecimento, elevação do moral, autodisciplina, círculos de qualidade e prática de sugestões individuais ou de grupo);
- O lema essencial da aprendizagem organizacional é: aprender fazendo.

Esta metodologia é representada por guarda-chuva que abrange todas as técnicas de melhoria conforme representado na Figura 5.

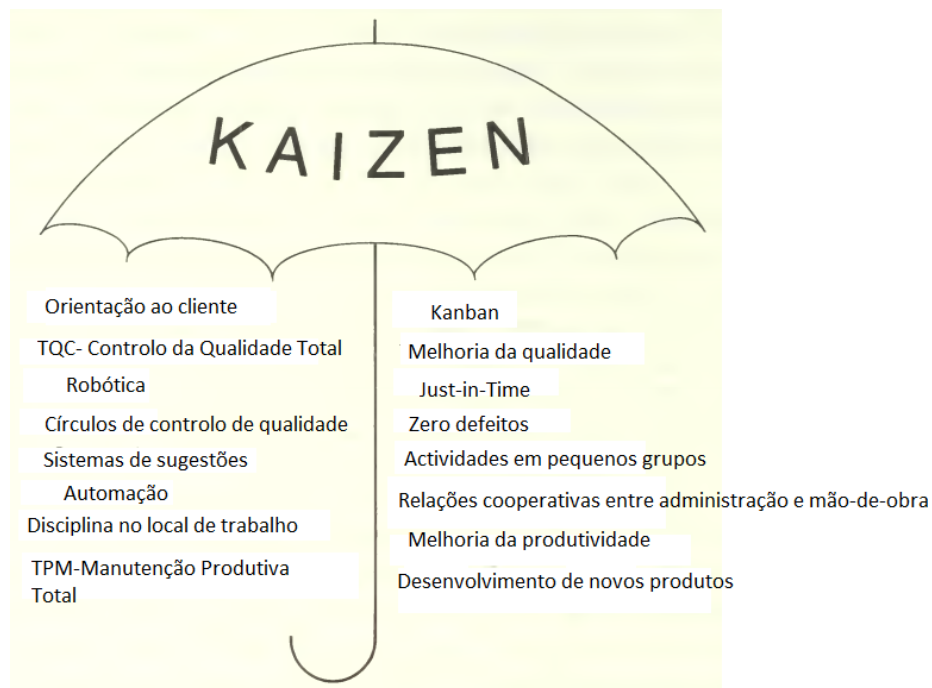


Figura 5- "Guarda-Chuva" do Kaizen (Adaptado de Imai, 1990)

2.8.2 5S

Como derivação de cinco palavras japonesas, a ferramenta 5S (figura 6) é um conjunto de práticas que procura a redução do desperdício fazendo uma melhoria do desempenho de pessoas e processos (Pinto, 2014):

Seirei (organização): é necessário definir qual o material que é necessário para a realização das operações. O material que não foi necessário deve ser eliminado do posto de trabalho.

Seiton (arrumação): depois do material desnecessário ser descartado do local de trabalho deve-se proceder à arrumação do material que é efetivamente necessário. Este deve ser identificado e ser arrumado de forma a que sua procura seja mais fácil.

Seiso (limpeza): deve-se proceder à limpeza do local de trabalho ajudando a manter este local limpo e agradável para os operadores.

Seiketsu (padronização): definir como norma a ordenação de todas as atividades diárias para manter o local de trabalho limpo e organizado. Devem ainda ser aplicadas as melhorias conseguidas a todos os postos de trabalho de modo a uniformizar toda a organização.

Shitsuke (autodisciplina): é necessário garantir o cumprimento dos 4s anteriores, fazendo para isso inspeções periódicas.

Segundo Pinto (2014), existem cada vez mais empresas a acrescentar um sexto “S” às 5 técnicas anteriormente apresentadas. Trata-se do “S” de segurança o qual não pode ser descartado dos anteriores. Para melhorar a eficiência de qualquer organização é necessário que primeiramente exista ordem e organização. Estas técnicas *Lean* motivam os colaboradores a melhorar o seu local de trabalho reduzindo assim o desperdício.

Deste modo, a aplicação desta ferramenta na organização pode trazer benefícios reduzindo os problemas associados ao fluxo de trabalho, aumentar a qualidade e produtividade e a comunicação entre colaboradores, melhora ainda a segurança no posto de trabalho eliminando perigos por forma a reduzir os acidentes de trabalho.



Figura 6-Os 6s (5+1) e a eliminação do desperdício (Pinto, 2014)

2.8.3 PDCA

Foi apresentado por Walter Shewhart em 1930 como um ciclo aplicável sobre a administração da qualidade, mas só nos anos 50 é que o ciclo de PDCA (figura 7) ficou amplamente conhecido através de William Edwards Deming e as suas palestras no Japão. Trata-se de um método de gestão para controlo e melhoria contínua de produtos e processos. Este divide-se em quatro etapas (Alves, 2015):

1. **Plan (Planear):** é a etapa mais importante pois é o início do ciclo desencadeando assim todo o processo do ciclo. Esta etapa é subdividida em 5 fases:
 - Identificar o problema;
 - Estabelecer a meta;
 - Analisar o fenómeno;
 - Analisar o processo (causas);
 - Plano de ação.
2. **Do (Executar):** fase em que o plano é executado, ou seja, todas as atividades que foram previstas e planeadas serão realizadas aplicando o método científico escolhido para testar hipóteses.
3. **Check (Verificação):** após ser planeado e posto em prática é necessário fazer a avaliação dos resultados. Os dados recolhidos na etapa de execução são utilizados na comparação entre o resultado obtido e a meta delineada. Caso a meta não tenha sido atingida, deve-se retornar a fase de observação da etapa de planeamento, analisar novamente o problema e elaborar um novo plano de ação.
4. **Act (Agir):** é nesta etapa que se faz a correção das falhas encontradas na etapa anterior e se implementam ações de acordo com o resultado obtido. Se a meta foi alcançada, a atuação será de manutenção, ou seja, adotar como padrão o plano

proposto. Se a meta não foi conquistada, a atuação será de agir sobre as causas que impediram o sucesso do plano.



Figura 7-Ciclo de PDCA

2.8.4 Kanban

O sistema *Kanban* foi desenvolvido por Taiichi Ohno em 1950 com o objetivo de minimizar os custos com o material em processamento e reduzir os *stocks* entre os processos. O *Kanban* é um sistema de controlo de fluxo de materiais e de informação no chão de fábrica (*Gemba*) (Pinto, 2014). A palavra *Kanban* tem origem japonesa e significa cartão ou sinal.

Existem dois tipos de *Kanban* (Pinto, 2014):

Kanban de produção: é necessário que haja uma autorização do *Kanban* de produção para que a operação de fabrico possa ser realizada.

Kanban de transporte: este tipo de sistema segue o mesmo princípio do *Kanban* de produção, mas este autoriza a movimentação do material de um ponto para outro, assim não é executada nenhuma atividade de movimentação sem que haja uma autorização do *Kanban* de transporte.

É uma ferramenta importante para melhorar a produção passando de um sistema *Push* para *Pull*. Este sistema pode ser manual ou automatizado (Mothilal and Prakash, 2018).

A esta ferramenta estão associados os seguintes benefícios (Gross and McInnis, 2003):

- Redução do *stock*;
- Melhoria do fluxo;
- Impedir a superprodução;
- Capacitar os trabalhadores a produzir de acordo com a procura do cliente;
- Criar programação visual e gestão do processo;
- Melhorar a capacidade de resposta às mudanças na procura;
- Minimizar o risco de obsolescência do *stock*;
- Aumentar a capacidade de gerir a cadeia de abastecimento.

2.8.5 JIT

O *Just-In-Time* (JIT) faz parte de um dos pilares da “casa do TPS” anteriormente apresentada. O JIT foi introduzido por Kiichiro Toyoda no Japão nos anos 70. Esta ferramenta concentra-se no fabrico de produtos para atender à procura do cliente em tempo, qualidade e quantidade (Nwanya and Oko, 2019).

Baseia-se no princípio de só se produzir quando há necessidade por parte do cliente. Assim, torna o processo mais rápido, há um menor acionamento de recursos, materiais e máquinas pois a produção só é feita de acordo com a procura, e ainda previne a ocorrência de dois desperdícios, o excesso de produção e os *stocks*.

Segundo Ohno (1988) existem dois componentes que estão envolvidos nas operações JIT:

- Sistema *Kanban*, já anteriormente apresentado, em que são utilizados cartões que servem como sinalizadores da produção, os quais têm como função enviar uma ordem quando o nível de *stock* se está a aproximar do mínimo;
- *Heijunka*, é uma ferramenta *Lean* que tem como objetivo o nivelamento da produção, reduzindo assim desigualdades da produção. Trata-se de uma forma de ganhar flexibilidade devido às variações dos pedidos que possam ocorrer. O *Heijunka* tem por objetivos nivelar (Pinto, 2014):
 - O volume de produção;
 - Os tipos de produtos;
 - Os tempos de produção.

Através da realização destes objetivos, o sistema *Heijunka* consegue produzir cada peça de acordo com o tempo padrão previamente definido e na quantidade solicitada.

Capítulo 3. Indústria 4.0

No presente capítulo é apresentada a definição de Indústria 4.0, as revoluções industriais, as características e os pilares da quarta revolução industrial.

3.1 Definição

A adoção das tecnologias de informação e de comunicação na indústria de manufatura remontam à década de 1970 (Mrugalska and Wyrwicka, 2017).

Proveniente da Alemanha, o termo Indústria 4.0 refere-se à quarta revolução industrial onde nas três primeiras foram surgindo a mecanização, eletricidade e por fim as tecnologias de informação (Gilchrist, 2016).

Apesar de não existir uma definição exata para a Indústria 4.0 de acordo com Bartodziej (2017), a quarta revolução industrial é uma revolução ou evolução para a digitalização, enquanto para outros pode ser a virtualização da produção industrial.

Deste modo, a quarta revolução industrial pode-se tornar um incentivo para as empresas poderem acompanhar a rápida evolução das tecnologias.

3.2 Revoluções Industriais

A primeira revolução industrial ocorreu na Inglaterra em meados do século XVIII e foi potencializada pela invenção da máquina a vapor. Foi caracterizada pela substituição do trabalho animal e humano pelas máquinas a vapor. Estas tecnologias aumentaram o poder de produção, criando a fábrica. Esta revolução produziu também mudanças na vida económica e social (Klingenberg and Antunes, 2017).

Durante a segunda metade do século XIX (1870-1969) a Segunda Revolução Industrial surgiu na Europa e nos Estados Unidos da América. Esta revolução foi caracterizada pela produção em massa e pela substituição do vapor, que tinha surgido na primeira revolução, por energia química e elétrica. Para atender à elevada procura, têm sido desenvolvidas novas tecnologias na indústria e mecanização, como a linha de montagem com operação automática, permitindo assim o aumento da produtividade (Pereira and Romero, 2018). Esta revolução aumentou ainda a importância das empresas (Klingenberg and Antunes, 2017).

A Terceira Revolução Industrial, também conhecida como revolução digital, que se iniciou em 1969, não foi caracterizada por uma mudança nas fontes de energia, mas sim pelo uso da eletrónica e das tecnologias de informação (TI) para automatizar a fabricação. Na produção, a eletrónica e as tecnologias de informação permitiram automatizar várias atividades, que antes eram executadas manualmente incluindo o planeamento e o controlo (Klingenberg and Antunes, 2017).

As três primeiras revoluções industriais tiveram forte impacto nos processos industriais, permitindo um aumento de produtividade e eficiência por meio do uso de desenvolvimentos tecnológicos disruptivos, como a máquina a vapor, eletricidade ou tecnologia digital (Pereira and Romero, 2018).

A Indústria 4.0 (I4.0) é um termo cunhado na Alemanha, também conhecido como Quarta Revolução Industrial. O objetivo é trabalhar ao mais alto nível de automatização atingindo o maior nível de produtividade e eficiência operacional (Alcácer and Cruz-Machado, 2019).

A quarta revolução industrial é caracterizada por incorporar as tecnologias de informação e de comunicação nos processos produtivos para digitalizar os componentes e elementos envolvidos na fabricação e unir a Tecnologia de Operações (OT) com a Tecnologia da Informação (IT).

Esta revolução permite que os componentes e as máquinas de produção sejam operadas de forma autónoma e eficiente. Facilita os meios de comunicação entre as máquinas e as pessoas independentemente da sua localização e permite interações entre vários dispositivos (Velásquez, Esteves and Pesado, 2018).

3.3 Características

Alasdair Gilchrist no seu livro “*Industry 4.0-The Industrial Internet of Things*” afirma que os defensores da Indústria 4.0 definem as quatro características seguintes (Gilchrist, 2016):

1. Integração vertical de sistemas de produção inteligentes: as fábricas inteligentes não podem funcionar sozinhas, deste modo é necessário que exista uma ligação entre a rede de fábricas inteligente - produtos inteligentes - sistemas de produção inteligentes.

2. Integração horizontal por meio de redes globais da cadeia de valor: para que se crie e agregue valor é necessário que haja integração horizontal, ou seja, exista uma conexão entre a cadeia de valor externa e a fábrica, mais propriamente desde o fornecedor até ao cliente final.
3. Engenharia em toda a cadeia de valor: é a ligação entre a cadeia de valor e o ciclo de vida do produto e cliente final. Segundo Freitas, Fraga and Souza (2016), as informações estão disponíveis em todos os estágios do ciclo de vida do produto, permitindo novos e mais flexíveis processos.
4. Aceleração da produção

3.4 Tecnologias

Pode-se afirmar que a quarta revolução industrial, não foi marcada pela mecanização dos processos de trabalho, mas sim pela automatização destes, utilizando de forma intensiva todas as tecnologias de informação disponíveis. A Indústria 4.0 considera a interface entre o universo da produção e a conectividade em redes permitindo assim, que haja uma conexão entre recursos, informações, objetos e pessoas (Tropia, Silva and Dias, 2017).

A esta possível interface estão associados 8 pilares (figura 8) que serão descritos seguidamente.



Figura 8-Pilares da indústria 4.0 (Nayyar and Kumar, 2019)

3.4.1 Big Data Analytics

A *Big Data Analytics* refere-se ao processo de recolha, organização e análise de grandes conjuntos de dados para descobrir diferentes padrões e outras informações úteis. A

análise de *Big Data* é um conjunto de tecnologias e técnicas que requerem novas formas de integração para divulgar grandes valores ocultos de grandes conjuntos de dados que são diferentes dos usuais, mais complexos e de grande escala (Riahi and Riahi, 2018).

Os *Big Data* resume-se em 5Vs (Riahi and Riahi, 2018):

- Velocidade: representa a frequência com que os dados são gerados, capturados e compartilhados;
- Volume: representa a quantidade de dados gerados, armazenados e operados dentro do sistema;
- Variedade: representa a multiplicação dos tipos de dados gerados por um sistema de informação;
- Veracidade: nível de qualidade, precisão e incerteza dos dados e fontes de dados;
- Valor: o valor e o potencial derivados dos dados.

3.4.2 The Internet of Things (IoT)

A *Internet of Things* (IoT) é uma rede mundial de objetos interconectados e uniformemente endereçados que comunicam por meio de protocolos padrão (Vaidya, Ambad and Bhosle, 2018).

É um paradigma que possibilita a comunicação entre dispositivos eletrônicos e sensores, ou seja, é uma inovação que reúne uma ampla variedade de sistemas inteligentes, estruturas e dispositivos e sensores inteligentes (Kumar, Tiwari and Zymbler, 2019).

A IoT engloba a *Internet of Services* (IoS), a *Industrial Internet of Things* (IIoT) e a *Internet of People* (IoP), sendo conhecida pela *Internet of Everything* (IoE).

3.4.3 Cyber-Security

A segurança cibernética é um dos principais desafios para as empresas que se aproximam do paradigma da Indústria 4.0 (Corallo, Lazoi and Lezzi, 2020).

Com o aumento da conectividade, a necessidade de proteger os sistemas industriais críticos e linhas de produção contra ameaças de segurança cibernética tem aumentado significativamente (Vaidya, Ambad and Bhosle, 2018).

A *cyber-security* é uma tecnologia que visa proteger, detetar e responder a ataques (Alcácer and Cruz-Machado, 2019).

3.4.4 *The Cloud*

A *Cloud* permite o armazenamento de grandes quantidades de dados. Esta capacidade torna-se importante para armazenar dados criados durante todo o processo de produção.

Da mesma forma, a computação em nuvem (*Cloud Computing*) reduz o investimento em recursos tecnológicos. Permite ainda uma redução de custos pois evita a compra de licenças e servidores (Velásquez, Estevez and Pesado, 2018).

3.4.5 *Additive Manufacturing*

Com a Indústria 4.0, os métodos de produção aditiva serão amplamente usados para produzir pequenos lotes de produtos que oferecem vantagens de construção.

Com a mudança contínua das necessidades dos clientes, o desafio de aumentar a customização dos produtos e reduzir o tempo de chegada ao mercado é enfrentado por muitas empresas. Ligados a esses desafios estão o aumento da digitalização, a penetração das IT, a rede de produtos, recursos de produção e processos. A diminuição dos ciclos de vida do produto, em combinação com a crescente procura de produtos, exige uma maior transformação em estruturas de organização que levam ao aumento da complexidade (Vaidya, Ambad and Bhosle, 2018).

Associada ainda à produção aditiva, a impressão 3D, permite que os fabricantes criem protótipos e projetos (Gilchrist, 2016).

Assim, as indústrias usam este tipo de tecnologia para reduzir os tempos de ciclo de desenvolvimento dos seus produtos e colocá-los no mercado de forma rápida com menor custo efetivo e maior valor agregado (Albertin *et al.*, 2017).

3.4.6 *Augmented Reality*

A aplicação da *Augmented Reality* (AR) torna-se importante para o domínio da indústria, pois melhora a comunicação no design do produto e no desenvolvimento da produção, ajuda a identificar e evitar erros de design nas fases iniciais do processo de desenvolvimento, reduz o número de protótipos físicos e economiza tempo e custos para as empresas (Pace, Manuri and Sana, 2018).

A tecnologia da AR surgiu para revolucionar a forma como os seres humanos interagem com as máquinas (Albertin *et al.*, 2017).

3.4.7 Robotics

A utilização de robôs não é um conceito novo pois eles já eram utilizados na indústria para realizar atividades complexas, mas na Indústria 4.0 verificou-se um avanço ao nível do seu funcionamento pois estes tornaram-se mais autônomos, flexíveis e cooperativos (Albertin *et al.*, 2017).

Uma face essencial da Indústria 4.0 são os métodos de produção autônomos movidos por robôs que podem completar tarefas de forma inteligente, com foco na segurança, flexibilidade, versatilidade e colaboração (Bahrin *et al.*, 2016).

O principal objetivo da Robótica na Indústria 4.0 é melhorar a produtividade, produzir produtos de alta qualidade a preços baixos e atender às expectativas do cliente (Nayyar and Kumar, 2019).

3.5 Vantagens

Esta quarta revolução industrial, também conhecida por Indústria 4.0, traz consigo várias vantagens que são essenciais para o desenvolvimento industrial.

Segundo Freitas, Fraga and Souza (2016), a Indústria 4.0 apresenta os seguintes benefícios:

Flexibilidade na produção: com a utilização de robôs ocorre um aumento na variedade de produtos que podem ser fabricados. Essa customização em massa vai permitir a produção em pequenos lotes.

Customização em massa: com o aumento da tecnologia haverá uma redução no tamanho das indústrias, onde as fábricas automatizadas serão menores e descentralizadas permitindo assim uma melhor eficiência energética.

Aumentar velocidade: a modelação dos processos de produção virtualmente pode reduzir o tempo entre o design, produção e entrega dos produtos. A velocidade do processo na cadeia de valor pode reduzir em 120% em termos de entrega de pedidos e 70% em termos de entrega ao mercado consumidor.

Melhor qualidade: os sensores utilizados podem monitorizar a qualidade da peça fabricada não sendo necessário assim utilizar o método de amostragem. Deste modo, permite que a máquina se ajuste em tempo real de modo a corrigir os erros que criam

produtos defeituosos. O aumento da qualidade do produto é refletido numa redução de desperdícios.

Melhor produtividade: utilizando sistemas avançados analíticos, pode-se evitar falhas no chão de fábrica reduzindo o tempo de paragem até 50%.

Assim, de um modo geral, as melhorias do desempenho da Indústria 4.0 serão alcançadas através da maximização da utilização dos ativos e da minimização do tempo de paragem das máquinas devido a manutenções, um aumento da produtividade graças a automação do trabalho manual, redução dos níveis de *stock* e melhoria da qualidade dos produtos e serviços (Corallo, Lazoi and Lezzi, 2020).

Capítulo 4. Contextualização da Empresa

Neste capítulo 4 é descrita a empresa onde se realizou o estágio, a sua localização e de seguida é apresentado o organograma.

4.1 Caracterização da Empresa

Criada a partir da PSA - Centro de Produção de Mangualde, a 4iTEC Lusitânia é uma empresa de Investigação & Desenvolvimento que fornece soluções frugais, de matriz tecnológica, para os processos industriais de manufatura (4iTEC Lusitânia, 2021).

Conta com mais de 20 anos de experiência em projetos de otimização na indústria automóvel, concebendo soluções ao serviço da melhoria eficiência dos processos de fabricação, compreendendo as verdadeiras necessidades do chão de fábrica e desenhando soluções simples, frugais e criativas, ajudando as pessoas a criar produtos de qualidade e altamente competitivos (4iTEC Lusitânia, 2021).

As nossas áreas de atuação centram-se em I&D e Engenharia, ao nível da Automação industrial, Robótica/ Robótica colaborativa, Tracking logística/ IOT's logística, Visão artificial/Machine learning, Robótica móvel / AGV's e Software multiplataforma.

4.2 Instalações e localização

A 4iTec Lusitânia está situada na PSA - Centro de Produção de Mangualde, no concelho de Mangualde, distrito de Viseu.



Figura 9-Localização da empresa (Google Maps, 2021)

4.2 Organograma

Na figura seguinte apresenta-se o organograma da empresa.

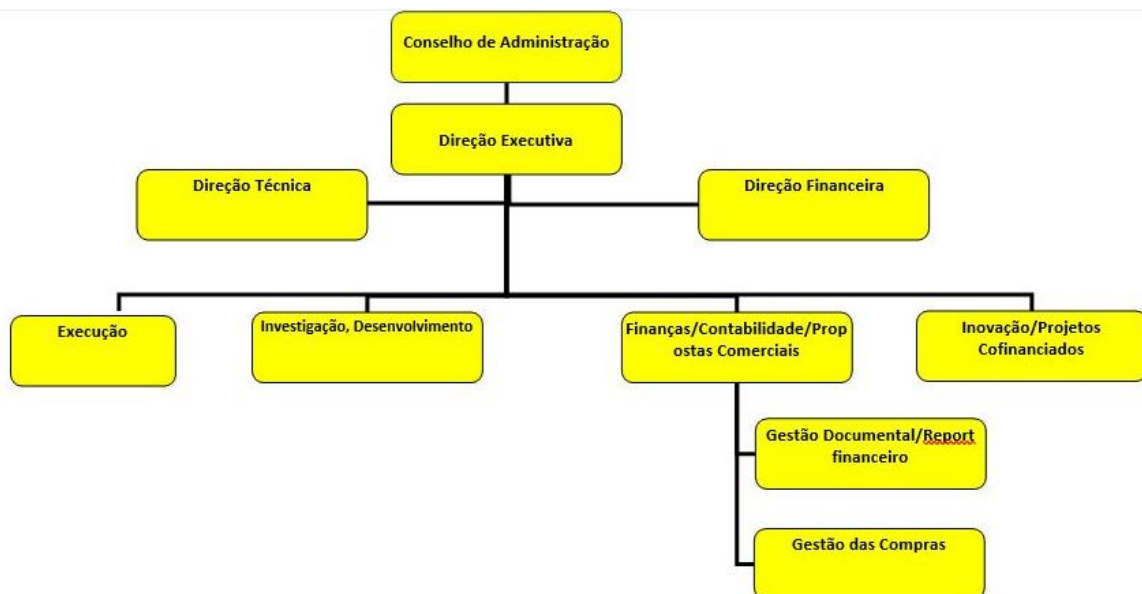


Figura 10-Organograma da empresa 4iTec Lusitânia (4iTEC Lusitânia, 2021).

Capítulo 5. Descrição de Casos de Estudo

Neste capítulo é apresentada a descrição dos 4 casos práticos, onde inicialmente se descreve o processo produtivo de cada um, seguida da apresentação do problema, descrição dos dados de entrada e de saída e por último a apresentação da solução.

Ainda neste capítulo é apresentada a relação entre a *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 de acordo com os casos práticos apresentados.

5.1 Caso de estudo nº1: Viragem automática de folhas de LVT

5.1.1 Descrição do processo

A empresa X produz diferentes tipos de pavimentos, os quais passam de maneira geral pelas mesmas operações. Os pavimentos são compostos por diferentes placas, coladas em formato *sandwich*. A *sandwich* é composta por uma placa base e um semiacabado, ambos de cortiça um decorativo ou em alternativa ao decorativo, uma placa de LVT.

O processo inicia-se com o transporte de paletes (figura 11) de um dos componentes do produto final, o LVT, do fornecedor externo para a empresa X. Estas paletes ao chegarem à empresa X são armazenadas. Como qualquer processo produtivo, é necessário que os componentes que vão resultar no produto final passem por várias etapas e este não é exceção.

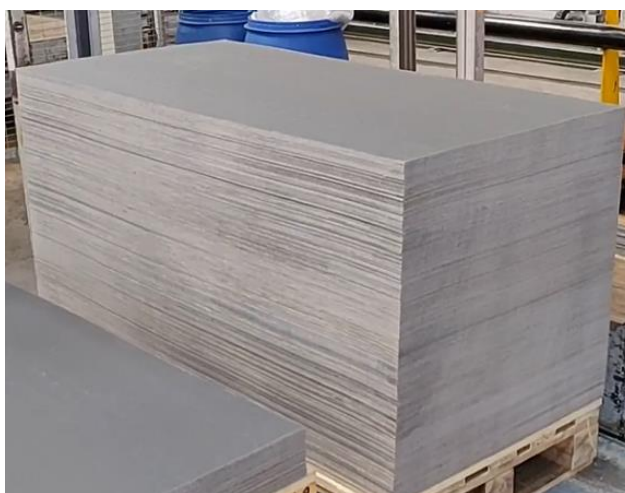


Figura 11-Paleta LVT vinda do fornecedor

Antes de a paleta entrar na linha de consumo é necessário que se faça a viragem das placas de LVT (figura 12), mas esta viragem só é feita à medida que será consumido para não danificar a textura das placas. De seguida, a paleta será distribuída na linha para consumo, onde se segue o processo de colagem.

Se o pavimento levar LVT, a seguir ao processo de colagem, o produto é cortado e embalado, caso leve o decorativo em vez de LVT antes de ser embalado primeiro é pintado e envernizado.



Figura 12-Viragem das placas de LVT

5.1.2 Apresentação do problema

O processo de viragem de LVT é feito atualmente por 2 operadores. De modo, a libertar os 2 operadores alocados a esta etapa do processo produtivo e a poder haver um aumento da produtividade surgiu a necessidade de automatizar esta etapa, podendo assim obter o mesmo *output*, mas com menos recursos.

Assim, de modo a encontrar a melhor solução adequada ao problema em causa são descritos de seguida todos os inputs e outputs relativos a esta etapa do processo produtivo.

5.1.3 Descrição dos dados de entrada e saída

Dados de Entrada

Este produto chega do fornecedor numa paleta composta por 420 placas. Estas placas apresentam duas faces (figura 13) em que uma delas é texturada e a outra parte serve de base sendo por isso completamente preta. Para não danificar a parte texturada as placas vêm com a partes texturas sobrepostas e desta forma será necessário virar uma em cada

duas placas. Apesar de apenas ser considerado o LVT 1200 e apenas ter uma medida disponível, existem vários tipos de padrões da parte texturada para este tipo de LVT.

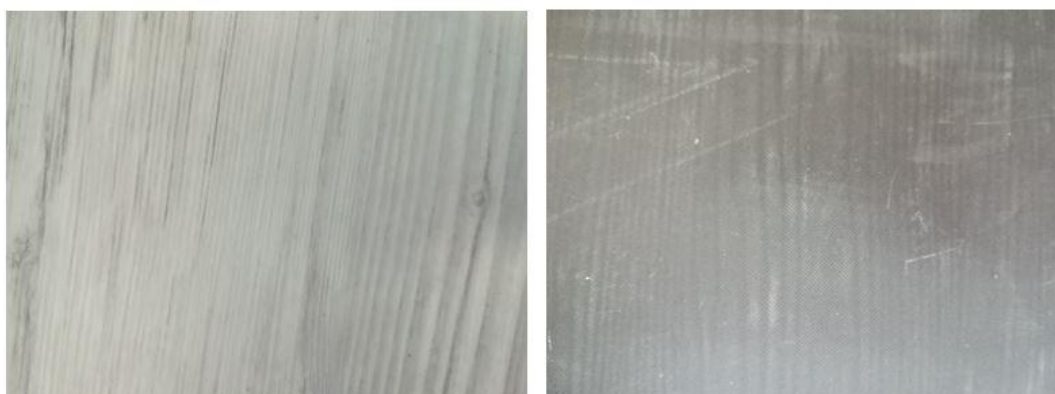


Figura 13-Faces da placa de LVT

Quando as placas forem consumidas nas etapas seguintes é necessário que todas as placas tenham a face texturada voltada para cima sendo por isso necessário existir o processo de viragem.

Existem 2 tipos de LVT:

- LVT 900;
- LVT 1200.

No entanto, apenas vai ser considerado o LVT 1200. As dimensões das placas estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2-Dimensões do LVT 1200

Tipo	Dimensões (mm)	Peso (kg)	Espessura (mm)
LVT 1200	1240 x 630	2,4	2

Características da palete inicial (palete vinda do fornecedor):

- Cada palete é constituída por 420 placas de LVT;
- Comprimento da palete = 1240mm;
- Largura da palete = 630mm;
- Altura da palete (incluindo palete de madeira) = 910mm.

A palete de LVT é transportada até ao ponto de viragem por empilhador.

Dados de Saída

A relação entre a paleta inicial e a paleta final (paleta com as placas já viradas) é de 1:2, ou seja, para uma paleta inicial de 420 placas terão de ser formadas 2 paletes com 210 placas cada.

As dimensões da paleta final serão as mesmas da paleta inicial, à exceção da altura, pois cada paleta final terá metade das folhas da paleta inicial como referido anteriormente, ou seja:

Paleta inicial: 1240mm x 630mm x 910mm;

Paletes finais:

Paleta 1: 1240 mm x 630mm x 530mm (incluindo a paleta de madeira);

Paleta 2: 1240mm x 630mm x 530mm (incluindo a paleta de madeira).

A cadência de viragem deve ser de 4 segundos, ou seja, o tempo máximo para virar cada placa será de 4 segundos. Apenas será virada 1 em cada 2 placas e a área de trabalho disponível é de 15m². De modo a simplificar todas as informações necessárias é apresentada de seguida a tabela 3.

Tabela 3- Tabela resumo de dados de entrada e de saída

Dados de Entrada	Dados de Saída
Características do LVT 1200: Dimensões: 1240mm x 630mm Peso: 2,40 kg Espessura: 2mm	Dimensões: 1240mm x 630mm Peso: 2,40 kg Espessura: 2mm
Características da paleta inicial: Dimensões: 1240mm x 630mm x 910 mm A paleta contém 420 placas.	Características da paleta final: O LVT será colocado em 2 paletes. Cada paleta apenas levará 210 placas de LVT, metade do monte inicial, ou seja, serão necessárias 2 paletes finais para 1 paleta inicial.
Logística: A paleta inicial é transportada até à zona de viragem por empilhador.	Logística: Entrada da paleta na linha, onde o transporte é feito por empilhador.
	Cadência: 4 segundos

5.1.4 Apresentação da solução

A apresentação da solução do LVT será apresentada em conjunto com a solução da viragem de SPC, pois foi proposto um mecanismo que faz a viragem tanto de SPC como de LVT.

5.2 Caso de estudo nº2: Viragem automática de folhas de SPC

5.2.1 Descrição do processo

A empresa X produz diferentes tipos de pavimentos, os quais passam de maneira geral pelas mesmas operações. Os pavimentos são compostos por diferentes placas, coladas em formato *sandwich*. A *sandwich* é composta por uma placa base e um semiacabado, ambos de cortiça, e um decorativo ou em alternativa ao decorativo, uma placa de SPC.

O processo inicia-se com o transporte de um dos componentes do produto final, o SPC, do fornecedor externo para a empresa X. Estas paletes (figura 14) ao chegarem à empresa X são armazenadas. Como qualquer processo produtivo, é necessário que os componentes que vão resultar no produto final passem por várias etapas e este não é exceção.

Antes de a paleta entrar na linha de consumo é necessário que se faça a viragem das placas de SPC, mas esta viragem só é feita à medida que este é consumido para não danificar a textura das placas. De seguida, a paleta será distribuída na linha para consumo, onde se segue o processo de colagem.



Figura 14-Paleta de SPC vinda do fornecedor

Se o pavimento levar SPC, a seguir ao processo de colagem, o produto é cortado e embalado, caso leve o decorativo em vez de SPC antes de ser embalado primeiro é pintado e envernizado.

5.2.2 Apresentação do problema

O processo de viragem do SPC é realizado atualmente por 2 operadores. De modo, a libertar os 2 operadores alocados a esta etapa do processo produtivo e a poder haver um aumento da produtividade surgiu a necessidade de automatizar esta etapa, podendo assim obter o mesmo *output*, mas com menos recursos.

5.2.3 Descrição dos dados de entrada e saída

Dados de Entrada

Existem 2 tipos de SPC

- SPC 1200;
- SPC 1800.

Este produto chega do fornecedor numa palete composta por 129 placas de SPC 1200 ou caso seja SPC1800 será uma palete com 80 placas dispostas por 2 montes de 40 placas cada. Estas placas apresentam 2 faces em que uma delas é texturada e a parte de baixo é completamente preta, como ilustrado na figura 15. Para não danificar a parte texturada as placas vêm com a parte texturada sobreposta e desta forma é necessário haver o processo de viragem, pois as placas necessitam de ir com a parte texturada voltada para cima.



Figura 15- Faces das placas de SPC

Quando as placas forem consumidas nas etapas seguintes é necessário que todas as placas tenham a face texturada voltada para cima sendo por isso necessário existir o processo de viragem. As dimensões das placas estão apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 4- Dimensões das placas de SPC

Tipo	Dimensões (mm)	Peso (kg)	Espessura (mm)
SPC 1200	1240 x 630	6,5	5
SPC 1800	1855 x 470	11,5	7

SPC 1200

Características da palete inicial (palete vinda do fornecedor):

- Cada palete é constituída por 129 placas de SPC 1200;
- Comprimento da palete = 1240mm;
- Largura da palete = 630mm;
- Altura da palete (incluindo palete de madeira) = 795mm.

A palete de SPC é transportada até ao ponto de viragem por empilhador

SPC1800

Características da palete inicial (palete vinda do fornecedor):

- Cada palete é constituída por 80 placas dispostas por 2 montes de 40 placas cada de SPC1800;
- Comprimento da palete = 1855mm;
- Largura da palete = 940mm;
- Altura da palete (incluindo palete de madeira) = 410mm.

A palete de SPC é transportada até ao ponto de viragem por empilhador

Dados de Saída

SPC 1200

A relação entre a palete inicial e a palete final (palete com placas já viradas) é de 1:1, ou seja, para uma palete inicial de 129 placas irá ser formada um palete final com o mesmo número de placas, com a diferença de que as placas nesta palete já se encontram viradas. As dimensões da palete final serão as mesmas da palete inicial, isto é, 1240mm x 630mm x 795mm.

A cadência de viragem terá de ser de 4 segundos, ou seja, o tempo máximo para virar cada placa será de 4 segundos. Apenas será virada 1 em cada 2 placas e a área de trabalho disponível é de 15m².

SPC 1800

A relação entre a palete inicial e a palete final (palete com placas já viradas) é de 2:4, ou seja, para uma palete inicial de 80 placas irá ser formada um palete final com 160 de placas dispostas por 4 montes de 40 placas cada, com a diferença de que as placas nesta palete já se encontram viradas.

A palete final será constituída por:

- 1 Palete de ferro com as dimensões: 2650mm x 1300mm x 150mm;
- 2 Estrados, colocados por cima da palete de ferro lado a lado, com as dimensões: 1390mm x 1855mm x 20mm (cada estrado);
- Por cima dos estrados serão colocados os 4 montes de SPC 1800;
- A cadência de viragem terá de ser de 4 segundos, ou seja, o tempo máximo para virar cada placa será de 4 segundos.

A área disponível é 15m².

De acordo com a imagem apresentada na figura 16 as placas têm de apresentar as seguintes características:

- O monte de placas que se encontra no primeiro estrado do lado esquerdo deve distar 140mm do início do estrado;
- A distância entre os montes de placas deve ser de 170mm;
- O mesmo se repete para os grupos de placas que se encontram no segundo estrado.

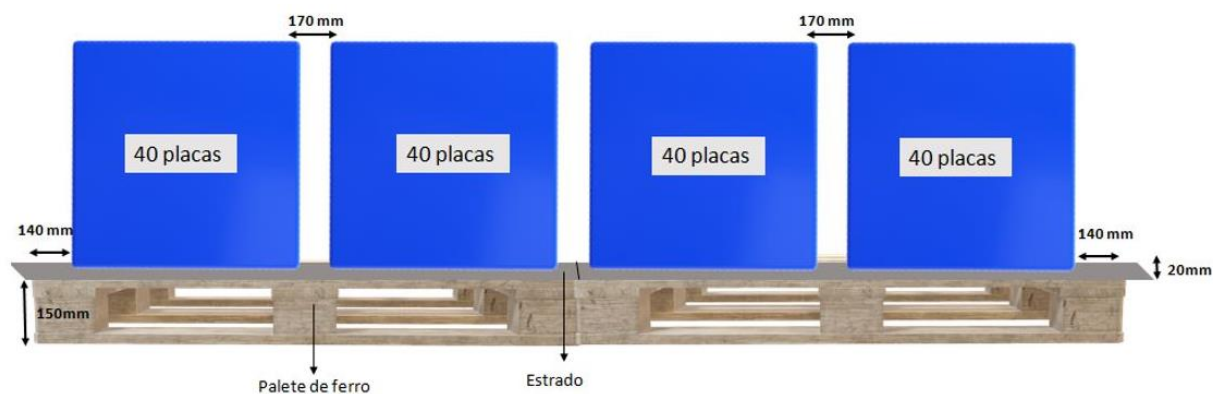


Figura 16-Disposição do SPC na paleta final

De modo a simplificar todas as informações necessárias é apresentada de seguida a tabela 5.

Tabela 5- Tabela resumo dos dados de entrada e de saída

Dados de Entrada	Dados de Saída
<p>Características do SPC:</p> <p>SPC 1200 Dimensões: 1240mm x 630mm Peso: 6,50 kg Espessura: 5mm</p> <p>SPC 1800 Dimensões: 1855mm x 470mm Peso: 11,50 kg Espessura: 7mm</p>	<p>Características do SPC:</p> <p>SPC 1200 Dimensões: 1240mm x 630mm Peso: 6,50 kg Espessura: 5mm</p> <p>SPC 1800 Dimensões: 1855mm x 470mm Peso: 11,50 kg Espessura: 7mm</p>
<p>Características da paleta inicial:</p> <p>SPC 1200: Dimensões: 1240mm x 630mm x 795mm A paleta tem 129 placas</p> <p>SPC 1800: Dimensões: 1855mm x 940mm x 430mm Cada paleta contém 80 placas dispostas em 2 montes de 40 placas.</p>	<p>Características da paleta onde o SPC é colocado:</p> <p>SPC 1200: Dimensões: 1240mm x 630mm x 150mm</p> <p>SPC 1800: A base onde o SPC 1800 é colocado após a viragem contém: 1 paleta de ferro com as dimensões: 2650mm x 1300mm x 150mm 2 estrados dispostos lado a lado, cada um com as dimensões: 1390mm x 1855mm x 20mm</p>
<p>Logística: A paleta inicial é transportada até a zona de viragem por empilhador</p>	<p>Características da paleta + SPC:</p> <p>SPC 1200: Igual à paleta inicial</p>

	<p>SPC 1800: Cada paleta final contém 4 montes de SPC e cada monte contém 40 placas. 2 paletes iniciais originam 1 paleta final</p>
	<p>Logística: A paleta é levada até a linha de consumo por empilhador</p>
	<p>Cadência: 4 segundos</p>

5.2.4 Apresentação da solução

Foi criada uma solução global em que ocorre a viragem automática do LVT e do SPC, através da instalação de 2 robots e 2 mesas de rolos motorizadas conforme representado na figura 17.

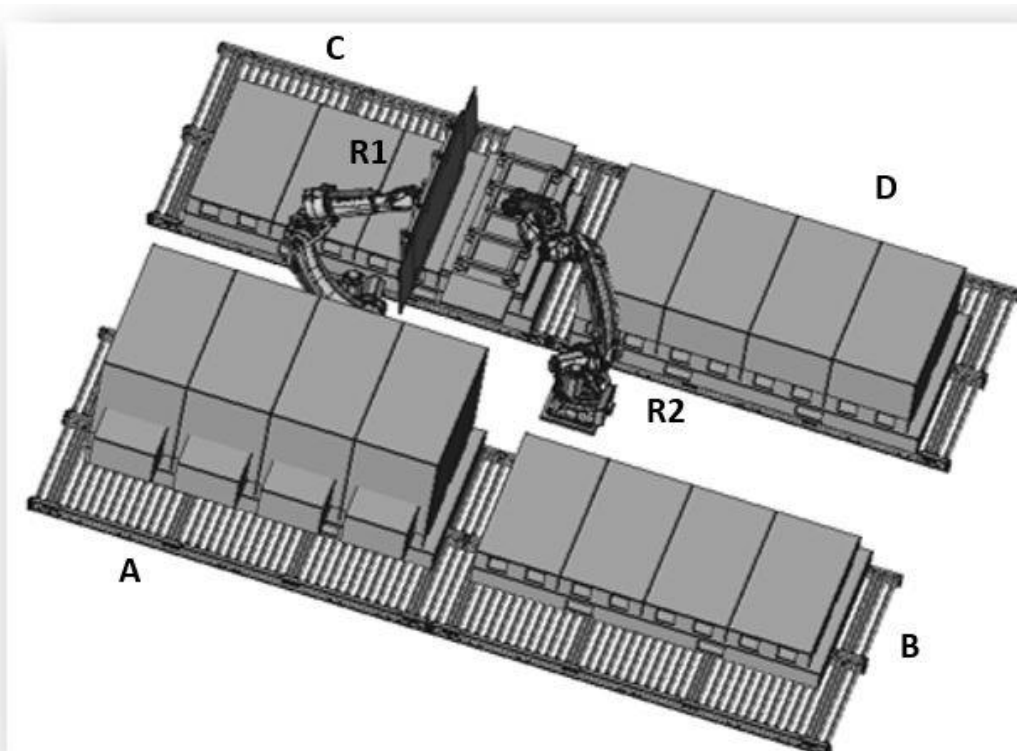


Figura 17-Esquematização do mecanismo de solução

Na solução global existem 4 pontos distintos, assinalados de A a D. O ponto A é o local onde vai entrar uma paleta de ferro com 4 montes de SPC ou LVT por virar. No ponto B vai sair a paleta vazia vinda do ponto A, ou seja, quando a paleta de LVT ou SPC que se encontra no ponto A estiver vazia vai-se deslocar para o ponto B. Esta paleta irá ser tirada pelo operador.

O ponto C será o local onde os robots irão colocar as placas de LVT ou SPC já viradas dispostas igualmente por 4 montes. Para isso é necessário que seja colocada pelo operador uma palete de ferro vazia no ponto C. Quando esta palete estiver completa irá se deslocar para o ponto D onde irá ser retirada pelo operador.

Princípio de funcionamento:

- R1 pega na placa no topo da pilha de entrada (ponto A);
- R2 pega na placa que tem o R1;
- R2 coloca a placa na palete de saída (ponto C);
- R1 pega na placa no topo da pilha de entrada (ponto A);
- R1 coloca a placa na palete de saída (ponto C);
- R2 pega na placa no topo da pilha de entrada (ponto A);
- R1 pega na placa que tem R2;
- R1 coloca a placa na palete de saída (ponto C);
- R2 pega na placa no topo da pilha de entrada (ponto A);
- R2 coloca a placa a placa na palete de saída (ponto C).

Os robots terão um *gripper* de vácuo para agarrar as placas.

Irá existir um ecrã onde o operador terá que seleccionar qual o tipo de material que irá ser virado. Para o SPC de 1800 será necessário a colocação das placas na palete de ferro e estrado numa posição específica como referido anteriormente, neste caso o robot já está programado para fazer essa colocação específica. A palete inicial colocada no ponto C terá de conter o estrado.

Funções do operador:

- Colocação da palete de ferro cheia no ponto A;
- Colocação de palete vazia no Ponto C, no caso de ser SPC 1800 palete + estrado;
- Retirar palete vazia no ponto B;
- Retirar palete cheia no ponto D;
- Escolher no ecrã qual o tipo de placas que irão ser viradas.

Pressupostos:

- A palete de ferro tem as seguintes dimensões 2650mmx630mm;
- Quando for virado o LVT, na palete que se encontra no ponto A cada monte de placas terá 420 placas;

- Quando for SPC 1200, cada monte terá 129 placas;
- Quando for SPC 1800, serão 4 montes de placas cada um com 40 placas.

5.3 Caso de estudo nº3: Colocação automatizada de folhas de cortiça

5.3.1 Descrição do processo produtivo

O processo produtivo inicia-se com a recolha da casca do sobreiro, esta quando chega à indústria sofre um processo de trituração de onde resulta um granulado. Este granulado é armazenado até ao processo de entrada na linha de produção.

Ao entrar na linha este granulado é colocado numas formas retangulares, que irão dar forma a um bloco de cortiça com determinadas medidas podendo estas ser variáveis. O fabrico destes blocos é feito tendo em conta várias variáveis tais como a temperatura, a humidade, a pressão, entre outras, conferindo assim ao bloco produzido maior ou menor densidade de matéria-prima. Finda a produção dos blocos, é necessário que estes passem por um processo de estabilização, pois devido às condições em que este é produzido poderá haver uma alteração das suas dimensões.

Terminado o processo de estabilização, os blocos de cortiça irão sofrer um processo de laminagem (figura 18), em que o bloco inicial irá ser cortado em folhas ou placas com espessuras variáveis.



Figura 18-Laminagem dos blocos de cortiça

Com as folhas ou placas laminadas irá ser formada uma palete (figura 19), que posteriormente será transportada para o armazém até à sua utilização nos processos seguintes.



Figura 19-Palete com folhas de cortiça

No processo seguinte as folhas de cortiça laminadas, também designadas por decorativo, irão ser coladas por cima de umas bases, designadas por HDF (figura 20), que irão passar ao longo do tapete rolante. Estas bases resultam de um processo anterior onde lhes foi colocada uma camada fina de cola. A colagem das folhas de cortiça por cima das bases é feita manualmente atualmente por 2 operadores.



Figura 20-Colocação da folha de cortiça na base HDF

Após o processo de colagem concluído, o material irá sofrer um processo de prensagem garantindo assim a colagem do decorativo às bases. Após a prensagem, é necessário que o material esteja algumas horas a estabilizar. De seguida, o material irá ser transportado para um local onde é executado o corte destas placas em placas mais pequenas com

medidas específicas. Já num processo final é realizado um acabamento onde poderá ser necessário a colocação de verniz ou dar uma pintura às placas.

Antes de o produto final (figura 21) ser embalado, este passa por um processo de controlo da qualidade onde são utilizados vários critérios que resultam na sua aceitação ou rejeição, tais como, sujidade, cantos partidos, falta de material, entre outros. Por último o produto é embalado, filmado e armazenado para posterior entrega ao cliente.



Figura 21-Produto final

5.3.2 Apresentação do problema

O processo de colocação da folha de cortiça nas bases HDF é feito atualmente por 2 operadores. De modo a libertar os 2 operadores alocados a esta etapa do processo produtivo e a poder haver um aumento da produtividade surgiu a necessidade de automatizar esta etapa, podendo assim obter o mesmo *output*, mas com menos recursos. Assim, de modo a encontrar a melhor solução adequada ao problema em causa são descritos de seguida todos os dados de entrada e saída referentes a esta etapa do processo produtivo.

5.3.3 Descrição dos dados de entrada e saída

Dados de Entrada

Existem 8 tipos de cortiça com características distintas, conforme apresentado na tabela 6.

Tabela 6-Tipos de cortiça e respectivas dimensões

Tipo	Dimensões (mm)	Peso (g)	Espessura (mm)
1	1240 x 630	620	2,2
2	1240 x 630	210	1,6
3	930 x 640	650	4
4	930 x 630	70	0,65
5	1230 x 630	160	0,72
6	1230 x 630	105	0,74
7	920 x 630	550	3,2
8	930 x 620	150	0,8

Na figura 22 encontram-se apresentados os diferentes tipos de cortiça.



Figura 22-Tipos de cortiça

As bases HDF terão o mesmo comprimento e largura das folhas que lhe serão coladas. As folhas de cortiça que serão utilizadas foram colocadas numa paleta anteriormente descrita no processo produtivo. Esta paleta terá as seguintes dimensões:

- 1240mm x 630mm x 1270mm (incluindo a paleta de madeira);
- 930mm x 640mm x 1270mm (incluindo a paleta de madeira);
- 920mm x 630mm x 1270mm (incluindo a paleta de madeira).

O tapete rolante apresenta as seguintes dimensões:

- Comprimento: 3100mm;
- Largura: 770mm;
- Altura: 880mm.

Por cima do tapete rolante existe uma mesa, que serve de apoio, na qual os operadores colocam as folhas de cortiça que serão coladas nas bases HDF. Esta mesa encontra-se a uma altura de 100mm do tapete rolante e as bases HDF encontram-se a 300mm de distância umas das outras como mostra a figura 23.

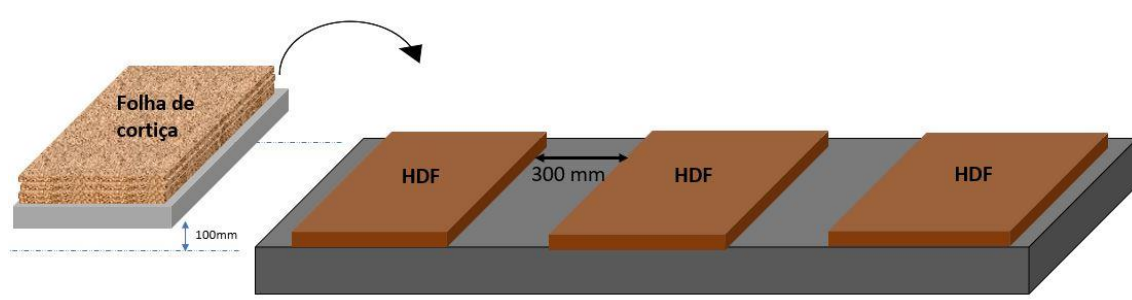


Figura 23-Ilustração da colocação das folhas de cortiça nas respetivas bases HDF

As paletes iniciais são transportadas para a zona de colocação da folha de cortiça por empilhador.

Dados de Saída

As dimensões da placa produto resultante da colocação da folha de cortiça na base HDF irá ter a mesma dimensão (comprimento e largura), diferindo apenas a espessura. A cadência será de 21 placas por minuto, ou seja, o correspondente à velocidade do tapete rolante. No que diz respeito à logística, as placas irão seguir no tapete rolante até à zona de prensagem.

5.3.4 Apresentação da solução

Neste processo de automatização serão utilizados 2 cobots (figura 24). Estes vão trabalhar em simultâneo e de forma coordenada.

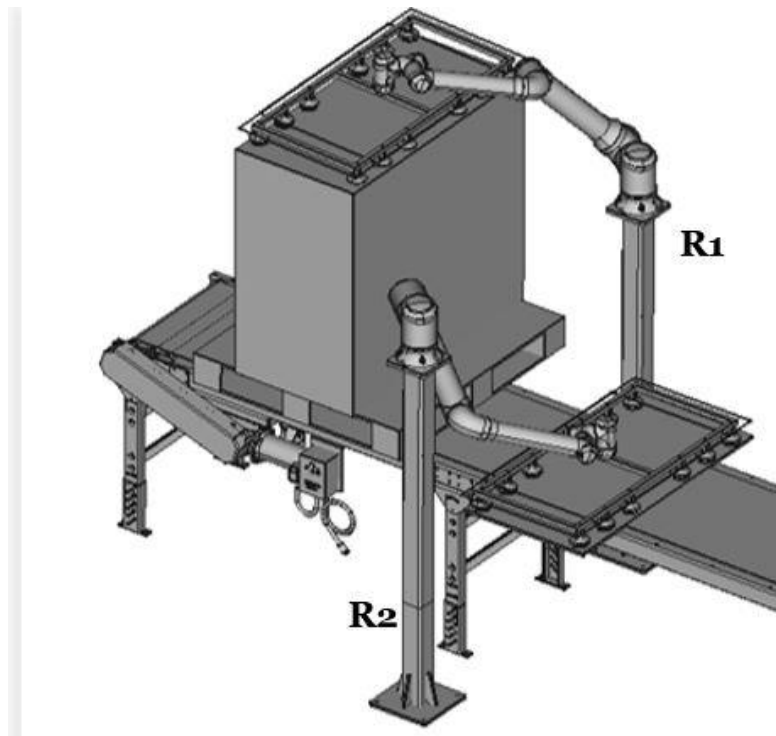


Figura 24-Esquematização do mecanismo de solução

Processo de funcionamento:

- R1 pega na folha no topo da pilha;
- R1 mede posição X Y da folha que pegou;
- Sistema de visão deteta a presença e a posição X Y da placa HDF;
- R1 mede a velocidade do tapete transportador;
- R1 coloca folha de cortiça em cima da placa HDF;
- R2 pega na folha no topo da pilha;
- R2 mede posição XY da folha que pegou;
- Sistema de visão deteta presença e posição X Y do HDF;
- R2 mede a velocidade do tapete transportador;
- R2 coloca folha cortiça em cima do HDF.

Os cobots irão utilizar vácuo para fazer o levantamento da folha de cortiça da paleta, de seguida irá ser usado um *gripper* que irá trancar a folha e transportar até ao destino pretendido.

Pressupostos:

- A palete que contém as folhas de cortiça terá de ser abastecida manualmente;
- A palete não poderá exceder 1270mm;
- A cadência máxima será de 21 folhas por minuto;
- Espaçamento mínimo entre as placas HDF será de 300mm;
- A paleta varia será retirada manualmente.

5.4 Caso de estudo nº4: *Charriot*

5.4.1 Descrição do processo

Numa determinada indústria automóvel, são fabricados automóveis de várias marcas. Durante o processo de fabrico, as viaturas passam por um fluxo produtivo que se divide em 3 linhas: ferragem, pintura e montagem.

O processo de fabrico do automóvel inicia-se na linha da ferragem, onde ocorre a junção de diferentes peças através da soldadura por resistência. Estas peças são reunidas em conjuntos através de calibres pneumáticos com diferentes tamanhos, e complexidades, distribuídos por diferentes linhas de produção. Estes grandes conjuntos acabam depois por se unir numa linha de produção principal, onde a carroçaria começa a ganhar forma.

De seguida, a carroçaria passa para a linha da pintura onde ocorrem sucessivas operações que vão conferir ao veículo capacidade de responder às exigências de resistência às agressões do meio exterior (mecânicas, químicas, etc.), de estanquicidade e estética, onde primeiramente é efetuada uma limpeza, desengorduramento, tratamento anti-corrosão da chapa, conferindo também a capacidade de aderência da tinta à chapa.

De seguida, são aplicadas várias camadas de tinta e por último uma camada de verniz, que confere brilho à carroçaria e também resistência química e mecânica à chapa protegendo-a dos riscos.

Na última etapa do fluxo produtivo, a caixa é transportada para a linha de montagem. Neste setor são montados todos os componentes, desde as peças iniciais como as cablagens e *tabliers*, posteriormente os órgãos mecânicos como o motor, terminando com a montagem de bancos e revestimentos interiores.

O sector é composto por uma linha principal de montagem, e várias linhas de subconjuntos, que funcionam em síncrono e alimentam a linha principal. No final, o veículo está pronto e é entregue ao departamento da qualidade que realiza a confirmação de todos os referenciais de qualidade.

5.4.2 Apresentação do problema

Na linha da montagem acima descrita, as caixas são transportadas por *charriots* vindos da pintura até um determinado ponto da linha.

Quando a caixa é elevada por robots (aranhas), é necessário que se retire o *charriot* (figura 25) da linha e que este seja colocado numa estação elevatória onde ficará à espera que chegue um *Automated Guided Vehicle* (AGV) que o irá transportar novamente até a linha da pintura.



Figura 25-Ilustração do *charriot*

Tendo em conta que o AGV demora cerca de 4 minutos a transportar o *charriot* até à linha da pintura (percurso marcado na figura 27) e voltar até a estação elevatória (figura 26) e que a cadência a que chega cada conjunto (caixa+*charriot*) (figura 28) àquele ponto da linha é de 3 minutos e 20 segundos, a um determinado momento irá haver uma acumulação de *charriots* formando-se assim *stock*, o qual não pode acontecer.



Figura 26-Estação elevatória

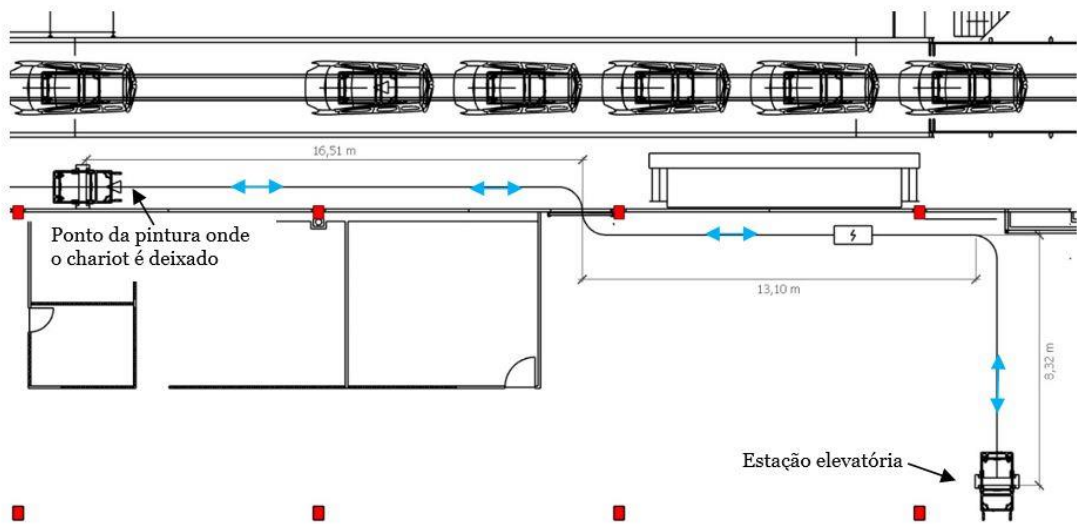


Figura 27-Percurso da situação atual



Figura 28-Conjunto caixa+charriot

5.4.3 Descrição dos dados de entrada e saída

Na tabela seguinte estão apresentados os dados de entrada e saída relativo ao processo.

Tabela 7-Tabela resumo dos dados de entrada e de saída

Dados de Entrada	Dados de Saída
Velocidade da linha: 3 minutos e 20 segundos	Distância situação inicial: $8,32+13,10+16,51=37,93\text{m}$ Distância situação futura: $1,47+10,77+13,8+2,9+16,88=45,82\text{m}$
Dimensões do charriot: Comprimento:194cm Largura:107cm	
Altura a que sobe o charriot na ponte elevatória: 76 cm	
Logística: Acompanhamento da linha	

5.4.4 Apresentação da Solução

Para que não ocorra a formação de *stock*, será necessário fazer a implementação de um novo AGV, que irá trabalhar alternadamente com o AGV existente como representado na figura 29.

Haverá apenas um pequeno acréscimo nos percursos dos AGV's pois inicialmente estes iriam buscar o *charriot* à estação elevatória e na situação futura, os AGV's também irão buscar o *charriot* ao ponto da linha onde este é deixado pela caixa.

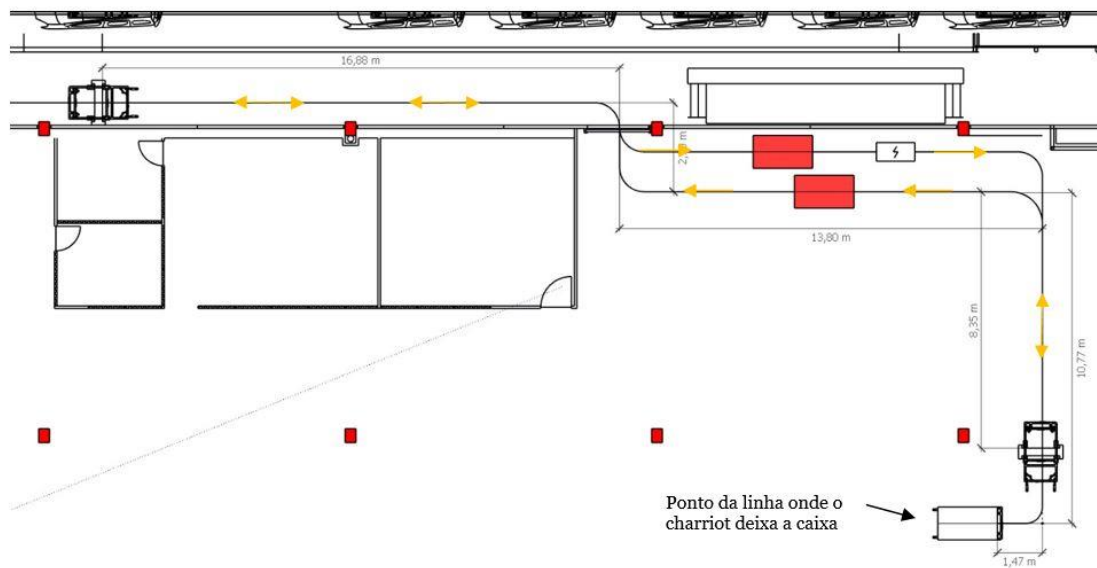


Figura 29-Percurso dos AGV's na situação futura

5.5 Relação entre *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0

Embora o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 sejam conceitos diferentes, ambos partilham dos mesmos objetivos tais como o aumento da produtividade, processos eficientes com eliminação de perdas, melhoria contínua, criação do fluxo e da produção puxada.

Quando se utiliza a tecnologia de uma forma mais efetiva, existe conseqüentemente um desenvolvimento da produção *Lean* fazendo com que as empresas passem a realizar as tarefas de forma mais ágil e precisa. Apesar da Indústria 4.0 trazer benefícios para a produção com a implementação de novas tecnologias, esta também poder trazer efeitos negativos. Para que a implementação atinja o valor desejado, será necessário haver uma preparação por parte dos operadores assim como a estruturação correta dos processos.

Assim, não se pode fazer a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) sem recorrer à filosofia de gestão *Lean*. É necessário fazer uso do bom senso, perceber todo o processo que se encontra envolvido no ponto do processo onde se vai aplicar a tecnologia, evitando assim deste modo, o risco de não haver um bom funcionamento da tecnologia aplicada, podendo automatizar assim o caos.

Por isso, para que essa falha de funcionamento da tecnologia não ocorra e para que a implementação das ferramentas da I4.0 seja bem-sucedida, será necessário primeiramente fazer uma análise de todo o processo produtivo da indústria em causa recorrendo a ferramentas *Lean*, tais como, *standardização*, o *Value Stream Mapping* (VSM), análise de fluxos, percebendo assim todos os dados de entrada e saída que lhe estão associados. Estando descritos e percebidos todos estes dados, é feito um *brainstorming* onde são discutidas todas as ideias para a possível implementação da solução inovadora. Esta solução enquadra processos *Lean* como por exemplo a eliminação de desperdícios, a *standardização* de processos.

De modo, a clarificar toda a explicação dada anteriormente, é dado como exemplo os casos de estudo 1 e 2 onde se pretende automatizar a viragem de placas LVT e SPC.

Na tabela seguinte estão apresentados todos os desperdícios associados a este caso de estudo. Encontra-se ainda dividida por modos de operação, onde estão assinalados com um visto os desperdícios que se verificam na situação atual e com um X os desperdícios que poderão ser eliminados com o processo automatizado.

Tabela 8-Descrição de desperdícios presentes no processo atual e processo automatizado

Modos de operação	Desperdícios Lean						
	Excesso produção	Esperas	Transporte e movimentações	Desperdícios do próprio processo	stocks	Defeitos	Trabalho desnecessário
Processo Manual	x	✓	✓	✓	x	✓	✓
Processo Automatizado	x	x	x	x	x	x	x

Excesso de produção: este desperdício não se verifica mesmo no processo manual pois apenas é feito o processo de viragem quando este é necessário, ou seja, é feita produção *Just-In-Time*.

Esperas: a este desperdício estão associadas tempos perdidos por pessoas e equipamentos, quer por acidentes, quer por defeitos de qualidade. Ao automatizar o processo, os tempos de espera diminuem, bem como os defeitos de qualidade.

Transporte e movimentações: no processo atual a viragem de LVT e SPC é realizada em pontos da fábrica diferentes, sendo por isso necessário haver a deslocação dos materiais

de partida para 2 pontos distintos bem como a recolha do produto final resultante dessa operação. Ao fazer a união do processo de viragem do LVT e SPC consegue-se diminuir o espaço alocado a estas atividades bem como o transporte efetuado pelos veículos de carga e descarga (empilhadores e porta paletes).

Desperdício do próprio processo: uma vez que se trata de um processo repetitivo, poderão existir erros por parte dos operadores, não virando por exemplo as placas que são efetivamente necessárias virar.

Stocks: neste processo, não serão formados *stocks* pois trata-se de um sistema *Pull*, no qual apenas as placas serão viradas quando realmente forem necessárias.

Defeitos: na situação atual, como a operação é realizada por 2 operadores e se trata de um trabalho repetitivo, existe uma elevada probabilidade de os operadores cometerem erros, resultando assim em defeitos. Ao automatizar o processo, os defeitos resultantes de falhas humanas serão eliminados.

Trabalho desnecessário: este desperdício pode estar associado à desmotivação dos operadores podendo estar associado a uma diminuição da rentabilidade, deste modo, através da automatização do processo elimina-se todo o trabalho desnecessário.

Além de todos os desperdícios apresentados na tabela 8, que poderão ser eliminados com a automatização desta parte do processo produtivo, ainda se recorre à standardização, ou seja, como inicialmente a viragem das placas em causa era feita em pontos distintos da fábrica o veículo de transporte, neste caso, o empilhador teria de ir aos dois postos fazer o reabastecimento das placas, mas sem ter um padrão de tempo definido, ou seja, caso este se atrasasse os operadores alocados à viragem de placas teriam de esperar que fosse feito o reabastecimento do produto em causa, verificando assim outro desperdício. Ao se proceder à automatização deste processo, conseguiu-se reduzir o espaço alocado a estes processos, pois serão feitos no mesmo espaço e não em espaços distintos, e ainda foi standardizada a função do operador que usa o empilhador pois será necessário cumprir tempos impostos de modo a que a ilha robotizada nunca fique com falta de material e deste modo ter de parar, fornecendo assim todos os produtos de entrada e retirando todos os produtos de saída, sendo neste caso as paletes com as placas de LVT e SPC já viradas.

Neste caso, será importante fazer o controlo da qualidade pois poderão existir falhas humanas resultando assim em defeitos do produto por se tratar de um trabalho repetitivo. Em trabalhos repetitivos e escaláveis, as máquinas automatizadas são capazes de fornecer resultados consistentes, algo que o ser humano tem dificuldade em executar, podendo assim deste modo cometer erros resultando em defeitos nos produtos fabricados.

No caso de estudo nº3, no qual se pretendeu automatizar a colocação de folhas de cortiça nas bases HDF, também se verifica a estandardização do operador que utiliza o empilhador, nunca podendo faltar o material de entrada, neste caso, paletes com folhas de cortiça, à ilha robotizada fazendo ainda deste modo a libertação dos 2 operadores.

Por último, no caso de estudo nº4, já se trata de um caso onde existe uma estandardização dos processos em linha quer aqueles que se encontrem antes ou depois do local em causa. Ainda assim, neste caso o desperdício que se elimina será o *stock* existente pois o tempo de avanço da linha principal é superior ao tempo que se demora a retirar o *charriot* da linha. Apesar de já existir um AGV, que faz o transporte desses mesmos *charriots*, este não é suficiente, sendo deste modo, necessário acrescentar um novo AGV ao processo de modo a não haver formação de *stock* e deste modo a eliminar um desperdício *Lean*.

Assim, pode dizer-se que a *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0 apresentam uma relação de complementaridade. Quando existe a combinação entre estes dois conceitos, as ferramentas *Lean* desempenham uma função fundamental para que não se automatize atividades que não agregam valor e daí se tornem num desperdício.

Segundo Goecks and Gomes, (2018), o termo “Indústria 4.0”, “Fábrica Inteligente”, “*Smart Factory*”, “*Factory of the Future*” são alguns dos termos que descrevem uma proposta do que será uma “Fábrica com Futuro”, e nesta visão as fábricas serão mais ágeis, dinâmicas, inteligentes e flexíveis para atender às procuras do mercado.

As tecnologias existentes no modelo da Indústria 4.0 e as suas aplicações tornarão mais fácil a realização e a aplicação dos conceitos e princípios da filosofia *Lean*. Trata-se da questão de transformar a indústria dos dias de hoje na indústria do futuro (Domingues, Bueno and Lopes, 2019).

Com o surgimento da Indústria 4.0 é comum imaginar-se que esta será a grande e única solução no bom andamento produtivo das chamadas “Fábricas do Futuro”, porém ao contrário do que se pensa, a utilização intensa de tecnologias e equipamentos avançados não será suficiente para garantir a eficiência necessária, sendo necessário complementá-los com a filosofia *Lean* (Domingues, Bueno and Lopes, 2019).

Apesar de os dois conceitos serem complementares, existem pontos onde estes divergem como por exemplo os custos de implementação. Na tabela seguinte apresentam-se alguns fatores de comparação entre a *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0.

Tabela 9-Fatores de comparação entre a *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0

	<i>Lean Manufacturing</i>	Indústria 4.0
Apoiado pelo <i>Just-In-Time</i>	Sim	Sim
Nível de investimento	Baixo/Médio	Alto/Muito Alto
Investimento em treino e qualificação	Sim	Sim
Custo de investimento em treino e qualificação	Baixo/Médio	Alto/Muito Alto
Representação de revolução significativa na produção	Sim	Sim
A sua aplicação garante sucesso na organização	Não	Não
Exige requalificação de trabalhadores e gestores	Sim	Sim

Fonte: Domingues, Bueno and Lopes (2019)

De acordo com a tabela 9, a *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 apresentam uma relação de complementaridade. Com o avanço da tecnologia os processos irão tornar-se mais inteligentes, mas apesar disso os métodos e as ferramentas *Lean* irão continuar a ser fundamentais. Os fatores que diferenciam o *Lean* e a I4.0 estão ao nível do investimento que é mais baixo no *Lean* do que na I4.0. O mesmo acontece na formação e treino que é necessário dar aos colaboradores, apesar de em ambos os conceitos ser necessário formar e treinar os colaboradores o nível de investimento é diferente.

Cada vez mais a indústria está a juntar estes dois conceitos automatizando os seus processos, mas tornando a sua indústria *Lean*, isto é reduzir no caso de não seja possível eliminar todos os desperdícios *Lean* presentes.

A 4itec Lusitânia como empresa tecnológica cria soluções para a indústria, automatizando assim processos. Mas para que se crie uma solução de tecnologia 4.0 é necessário que se faça um pouco de Engenharia de Processos, aplicando todos os conceitos e análise de diagramas de fluxo, VSM (*Value Stream Mapping*) percebendo-se deste modo todas as etapas do processo produtivo que possam ser melhoradas e nas quais seja possível eliminar desperdícios.

Apesar disto, é fundamental ir à indústria em causa e falar com os operadores pois são eles que estão no chão de fábrica e que conhecem melhor o processo do que a gestão de topo. São eles que poderão ajudar a perceber quais os verdadeiros problemas, que existem nas tarefas que desempenham, podendo assim auxiliar na criação de ações para melhorar os processos.

Depois de se perceber a posição do operador e de estar concluída toda a análise de processos, deve ser realizado um *brainstorming* em que é apresentado aos restantes elementos do departamento de engenharia todos os *inputs* e *outputs* do processo em causa. Com estes dados, surge uma lista de soluções que poderão ser aplicadas no processo em causa. A ideia final será escolhida tendo em conta os custos, o material utilizado, a dependência de operadores no processo e a sua viabilidade.

Todas as soluções apresentadas ao cliente devem ter em consideração a relação de complementaridade entre a *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0, oferecendo assim ao cliente a melhor e a mais rentável solução, eliminando o desperdício que anteriormente existia aumentando assim a qualidade do processo.

Capítulo 6. Conclusão

A *Lean Manufacturing* tem como objetivo principal a eliminação dos desperdícios, ou seja, qualquer atividade que consome recursos, mas que não cria valor. Para isso propõe-se a redução do *Lead Time*, ou seja, fazer mais rápido, aumentar a qualidade fazendo melhor e reduzindo os custos na organização.

Por forma, às empresas acompanharem os seus concorrentes, muitas das vezes recorrem à implementação de soluções I4.0 que podem diminuir os custos e aumentar a produtividade e ganhos.

Uma das tecnologias pertencente à I4.0 que se destaca nas indústrias, que contém processos onde a repetibilidade é elevada, é a automatização de processos aplicando robôs ou cobots. Apesar de os robôs já serem utilizados na 3ª revolução industrial, estes estão a ganhar mais autonomia, podendo assim interagir com as pessoas e por vezes operarem sem a vigilância humana. Os processos com elevada repetibilidade são propícios à ocorrência de erros humanos, deste modo, para que os defeitos não sejam a causa de reclamações por parte do cliente, as empresas deverão investir na automatização de processos.

No entanto, para que esta ligação entre o *Lean* e a Indústria 4.0 seja a melhor possível, e que a implementação seja bem-sucedida, é necessário efetuar-se uma análise de processos, percebendo-se deste modo todos os passos do processo produtivo e aplicando assim da melhor forma a tecnologia da I4.0. Conhecer o processo de produção da empresa é fundamental para se conseguir implementar as tecnologias pretendidas com sucesso. Só conhecendo a fundo e detalhadamente os aspetos da produção se poderão aplicar medidas que obtenham os efeitos pretendidos.

Assim, conclui-se que a Indústria 4.0 e o *Lean Manufacturing* apresentam uma relação de complementaridade. Com a junção destes dois conceitos, as organizações poderão obter benefícios que lhes permitirão utilizar os seus recursos de forma mais eficiente, melhorar a produtividade e a qualidade dos seus processos e produtos.

Bibliografia

4iTEC Lusitânia (2021) 4iTEC Lusitânia Disponível em: <https://pt.linkedin.com/company/4iteclusitania> [Acedido 24 de janeiro de 2021].

Albertin, M.R., Elienesio, M.L.B., Aires, A.S., Pontes, H.L.J., Junior, D.P.A. (2017) Principais inovações tecnológicas da Indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura. *XXIV Simpósio de Engenharia de Produção-Contribuições da engenharia de produção para uma economia de baixo carbono*, 8-10 November, Bauru, São Paulo, Brazil.

Alcácer, V. and Cruz-machado, V. (2019) Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology , An International Journal*, 22, pp. 899–919.

Alkhoraif, A., Rashid, H. and McLaughlin, P. (2019) Lean implementation in small and medium enterprises: Literature review. *Operations Research Perspectives*, Vol.6, 100089

Alves, E. A. C (2015) O PDCA como ferramenta de gestão da rotina. *XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão*, 13-15 August, Rio de Janeiro, Brazil, ISSN 1984-9354.

Bahrin, M.A.K., Othman, M. F., Azli, N.H.N., & Talib, M. F. (2016) Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6-13). DOI: 10.11113/jt.v78.9285

Bartodziej, C. (2017) *The concept Industry 4.0: An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics*. Springer Glaber. DOI: 10.1007/978-3-658-16502-4

Corallo, A., Lazoi, M. and Lezzi, M. (2020) Computers in Industry Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts. *Computers in Industry*, Volume 114, January, 103165. DOI: 10.1016/j.compind.2019.103165

Dekier, L. (2012) The Origins and Evolution of Lean Management System. *Journal of International Studies*, Vol.5, No.1, pp.46-51. DOI:10.14254/2071-8330.2012/5-1/6

Dixit, A., Singh, A. and Dave, V. (2015) Lean Manufacturing: An Approach for Waste Elimination. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. Volume 4, Issue 04, April.

Domingues, A., Bueno, M. J. C. and Lopes, M. R. (2019) Análise comparativa: Lean Manufacturing e Indústria 4.0. *X Fateclog Logística 4.0 & a sociedade do conhecimento*. FATEC Guarulhos, May 31-June 1, São Paulo, Brazil. ISSN 2357-9684.

Engelund, H. E, Breum, G. and Friis, A. (2008) Optimisation of large-scale food production using Lean Manufacturing principles. *Journal of Foodservice*, 20, pp. 4–14

Freitas, M.M.B.C., Fraga, M.A.F and Souza, G.P.L. (2016) Logística 4.0: Conceitos e aplicabilidade: Uma pesquisa-ação em uma empresa de tecnologia para o mercado automobilístico. Disponível em: <https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/214/175> . [Acedido 24 de janeiro de 2021].

Gilchrist, A. (2016) *Industry 4.0- The Industrial Internet of Things*. Apress. DOI: 10.1007/978-1-4842-2047-4.

Goecks, L. S. and Gomes, I. B. (2018) *O Sistema Toyota de Produção e a Indústria 4.0: suas interações e diferenças*. Anais do SIGEPRO: III Simpósio Gaúcho de Engenharia de Produção, Even3. ISSN: 2595-9530.

Gross, J.M. and McInnis, K.R. (2003) *Kanban Made Simple: Demystifying and Applying Toyota's Legendary Manufacturing Process*. AMACOM.

Imai, M. (1990) *Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo*. Tradução Cecília Fagnani Lucca, 3ª edição. IMAM

Kaizen Institute Portugal. (2021) O que é Kaizen? Disponível em: https://pt.kaizen.com/o-que-e-kaizen.html#core_kaizen [acedido a 29 de Novembro de 2020]

Kanbanize (2021) Os 7 Desperdícios do Lean: Como Otimizar Recursos. Disponível em: <https://kanbanize.com/pt/gestao-lean/valor-desperdicio/7-desperdicios-do-lean> [acedido a 22 de novembro de 2020]

Klingenberg, C. O. and Antunes, J.A.V. (2017) Industry 4.0: what makes it a revolution ?. *24th International Annual EurOMA Conference "Inspiring Operations Management"*, 1-5 July, Edinburgh, Scotland.

Kumar, S., Tiwari, P. and Zymbler, M. (2019) Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review. *Journal of Big Data*, 6, 111. DOI: 10.1186/s40537-019-0268-2.

Liker, J. (2004). *The Toyota way – 14 management principles the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill Education.

Mothilal, B. and Prakash, C. (2018) Implementation of Lean Tools in Apparel Industry to Improve Productivity and Quality. *Current Trends in Fashion Technology and Textile Engineering*, volume 4, issue 1, July, 555628. DOI: 10.19080/CTFTTE.2018.04.555628

Mrugalska, B. and Wyrwicka, M. K. (2017) Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*, Volume 182, pp. 466–473. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.135

Nayyar, A. and Kumar, A. (2019) *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development*. Advances in Science, Technology & Innovation, Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-030-14544-6.

Nwanya S.C. and A. Oko (2019) The limitations and opportunities to use lean based continuous process management techniques in Nigerian manufacturing industries – a review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1378, 022086. DOI: 10.1088/1742-6596/1378/2/022086.

Ohno, T. (1988) *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland, Productivity Press.

Pace, F., Manuri, F. and Sanna, A. (2018) Augmented Reality in Industry 4.0. *American Journal of Computer Science and Information Technology*, Vol.6 No.1:17. DOI:

10.21767/2349-3917.100017

Pereira, A. C. and Romero, F. (2018) A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, Volume 13, January, pp. 1206–1214. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.09.032

Perna, J.L.S. & Ferraz, F.T. (2016) Evolução do Sistema Toyota de Produção à Metodologia Lean; sua aplicação no setor privado e público. *Anais do VI ENFEPro - Encontro Fluminense de Engenharia de Produção*, Editora SFEPPro - Sociedade Fluminense de Engenharia de Produção, 18-19 October, Escola de Engenharia da UFF, Niterói/ RJ. ISSN 2178-3272.

Pinto, J.P. (2014) *Pensamento Lean. A filosofia das organizações vencedoras*. Lidel.

Riahi, Y. and Riahi, S. (2018) Big Data and Big Data Analytics: Concepts, Types and Technologies. *International Journal of Research and Engineering*, 5 (9), September-October, pp. 524–528. DOI: 10.21276/ijre.2018.5.9.5

Simchi-Levi, D. and Kaminsky, P. (2001) Designing and Managing the Supply Chain Concepts, Strategies, and Cases. *Journal of Business Logistics*, 22(1), March. DOI:10.1002/j.2158-1592.2001.tb00165.x

Sinfic (2007) A História do Lean Manufacturing. Disponível em: <http://www.sinfic.pt/SinficWeb/displayconteudo.do2?numero=24869> [Acedido a 14 de Novembro de 2020]

Tropia, C., Silva, P., Dias, A. (2017) Indústria 4.0: Uma caracterização do sistema de produção. *ALTEC 2017: XVII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica*, 16-18 October, Ciudad de Mexico, Mexico.

Vaidya, S., Ambad, P., Bhosle, S. (2018) Industry 4.0–A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, Volume 20, pp. 233–238. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.034

Velásquez, N. Estevez, E. and Pesado., P. (2018) Cloud Computing, Big Data and the Industry 4.0 Reference Architectures. *Journal of Computer Science and Technology*, 18(03), e29. DOI: 10.24215/16666038.18.e29

Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D. (1990) *The Machine that changed the world*. New York, Ramson Associaties -Macmilkin Publishing Company.

Womack, J. and Jones, D. (2003) *Lean Thinking: Banish the Waste and Create wealth in your organisation*. New York, Simon and Schuster