

UNIVERSIDADE
AUTÓNOMA
DE LISBOA



DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ECONÓMICAS E EMPRESARIAIS

MESTRADO EM GESTÃO DE EMPRESAS

UNIVERSIDADE AUTÓNOMA DE LISBOA

“LUÍS DE CAMÕES”

***LEAN E A INDÚSTRIA 4.0 - IMPORTÂNCIA DA PADRONIZAÇÃO DOS
PROCESSOS NA IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE TECNOLOGIA.***

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Gestão de Empresas

Autora: Luciana Cristina Pedrão

Orientador: Professor Doutor Amílcar Santos Gonçalves

Número da Aluna: 30000326

LISBOA

Setembro de 2022

©2021 – Direitos Reservados do Autor

Banca Examinadora

Presidente: Professor Doutor Joaquín Texeira Quirós.

Arguente: Professor Doutor Gonçalo Da Costa Simões João.

Orientador: Professor Doutor Amílcar Santos Gonçalves.

Vogal Suplente: Professora Doutora Sandra Cristina Antunes Ribeiro.

Dedico este trabalho aos entusiastas e amantes do Lean.
Para mim o Lean é muito mais que ferramentas e métodos, e vai além de ser uma filosofia de gestão. Ser Lean é imergir em uma jornada incessante da desmistificação da complexidade com foco no que gera valor, através das pessoas e pelas pessoas.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Deus pela dádiva da vida.

À minha Mãe que se tornou a estrela mais brilhante do meu céu e que ilumina cada passo do meu caminho.

Ao meu Pai, por dizer “faça, vai dar certo, mas se der errado eu estarei aqui pra te apoiar!”

À minha família, em especial ao Adriano, por estarem presentes e sempre me motivarem.

Aos meus senseis Eduardo Morinishi e Marcelo Takahashi, por me inspirarem e terem me ensinado que o que vale mesmo é ser “*Ganbatte*” (esforçar-se na busca do que queremos e nos faz feliz).

Aos meus líderes, Divaldo Pessoa e Luiz Gobbo, por me desafiarem, permitirem que eu realize e me apoiarem na transformação que tanto acreditamos.

Aos meus professores, por toda dedicação e conhecimentos compartilhados.

Ao Professor e Orientador Dr. Amílcar Gonçalves, por sempre enviar palavras motivadoras e acreditar no meu potencial.

À Patota do Mestrado, pela diversão, aprendizado, convivência e amizade.

RESUMO

A presente dissertação de Mestrado trata do delineamento de uma investigação intitulada “*Lean* e a indústria 4.0 – importância da padronização dos processos na implantação de projetos de tecnologia”, que foi investigado a partir da revisão bibliográfica e da implantação de um projeto de Indústria 4.0 na área de Logística de uma empresa do setor automotivo. Neste contexto avaliamos a aplicação dos conceitos e ferramentas *Lean* como base para a Indústria 4.0, quais os ganhos de tratarmos estas abordagens em conjunto e os riscos de automatizarmos processos não estruturados e estudando de forma mais profunda a essência do *Lean* encontramos no pilar do *Jidoka*, que significa “autonomia, ou automação da função controle”, a aplicação da automação para identificação de qualquer anormalidade com o objetivo de tornar o problema visível, impedindo a geração e propagação de defeito e direcionando a atuação das pessoas para o restabelecimento da condição normal, assim garantindo a qualidade dos resultados. Dada a relevância e atualidade dos temas, o objetivo desta investigação é o entendimento dos termos *Lean* e Indústria 4.0 e a validação da correlação existente entre eles através da medição de resultados da implantação de um projeto na área de logística de uma empresa do setor automotivo. O projeto consiste na instalação de câmeras para leitura de códigos de barras e está inserido na Indústria 4.0 como visão computacional; durante o desenvolvimento e implementação deste projeto medimos como o aumento de maturidade da aplicação do *Lean* nos processos impactaram nos resultados. O tema está relacionado com as seguintes áreas de estudo: Logística, Inovação e Tecnologia, Sistemas de Informação, Engenharia.

Palavras-chave: *Lean*, Indústria 4.0, Automação, Inovação, Tecnologia, Sistemas de Informação, Logística e Operações.

ABSTRACT

This Master's Thesis deals with an investigation entitled “Lean and industry 4.0 - importance of standardizing processes in the implementation of technology projects”, which was investigated from the bibliographic review and the implementation of an Industry project 4.0 in the Logistics area of an automotive company. In this context we evaluate the application of Lean concepts and tools as a basis for Industry 4.0, what are the gains of deal with these approaches jointly and the risks of automating no structured processes and studying more deeply the essence of Lean we find in the Jidoka the concept of “autonomation, or automation of control function”, the application of automation to identify any abnormality in order to make the problem visible, preventing defect generation and propagation and directing the performance of people to the reestablishment of the normal condition, thus ensuring the quality of the results. Given the relevance and timeliness of the themes, the objective of this investigation is to understand the terms Lean and Industry 4.0 and to validate the existing correlation between them by measuring the results of implementing a project in the logistics area of a company in the automotive sector. The project consists of the installation of cameras for reading bar codes and is inserted in Industry 4.0 as computer vision; during the development and implementation of this project we measured how the increased Lean's maturity in the processes impacted the results. The theme is related to the following areas of study: Logistics, Innovation and Technology, Information Systems, Engineering.

Keywords: Lean, Industry 4.0, Automation, Innovation, Technology, Information Systems, Logistics and Operations.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO.....	9
1.2 - QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO	11
2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 LEAN	12
2.1.1 Eliminação de Desperdícios	14
2.1.2 Processos e Padronização	16
2.1.3 Just in Time (JIT)	16
2.1.4 Jidoka	17
2.2. LOGÍSTICA.....	19
2.2.1 Logística LEAN	20
2.2.2 Movimentação de Materiais	21
2.3 INDÚSTRIA 4.0	23
2.3.1 Lean e a Indústria 4.0	25
2.3.2 Logística e a Indústria 4.0	28
3 METODOLOGIA	30
4 PORTAL DE CÂMERAS DE LEITURA DE CÓDIGOS NO RECEBIMENTO DE PEÇAS. 32	
4.1 JUSTIFICATIVA DA NECESSIDADE E DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DA SOLUÇÃO	32
4.2 - DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO	34
4.2.1 - Definição do Conceito Operacional.....	35
4.2.2 - Experimentação - Ambiente Controlado para Definições de Tecnologia e dos Padrões Operacionais.....	37
4.2.3 - Apresentação da Solução.	39
4.3 - INSTALAÇÃO DA SOLUÇÃO EM AMBIENTE OPERACIONAL	40
5 RESULTADOS	42
6 CONCLUSÃO	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processo de recebimento de peças com checagem dos códigos das etiquetas através de pistola de leitura de códigos.	34
Figura 2- Resultado dos testes, identificação dos códigos através do sistema de leitura.....	39
Figura 3 - Resultado da primeira semana dos testes de leitura do Portal de Câmeras em ambiente operacional.	42
Figura 4- Estratificação dos resultados da primeira semana dos testes de leitura do Portal de Câmeras em ambiente operacional.....	43
Figura 5- Estratificação de Dados – Perdas de Leitura por Processos e Padronização.....	47
Figura 6- Estratificação de Dados – Perdas de Leitura por Tecnologia.....	48
Figura 7- Consolidação do resultado dos testes de leitura do Portal de Câmeras no ambiente operacional.	49
Figura 8 - Processo de recebimento de peças com checagem dos códigos das etiquetas, através do Portal de Câmeras.....	50

1 INTRODUÇÃO

Nesta dissertação é apresentado o projeto “Lean e a Indústria 4.0 - importância da padronização dos processos na implantação de projetos de tecnologia.” como trabalho de conclusão do curso de Mestrado em Gestão de Empresas, especialidade em Planejamento e Estratégia Empresarial.

Além de ser objeto de trabalho de conclusão de dissertação de mestrado este projeto está de acordo com meus desafios profissionais onde tenho como meta identificar as principais atividades da cadeia logística que geram alto volume de trabalho e não agregam valor com o objetivo de elevar a produtividade, flexibilizar e inovar as operações logísticas, acompanhar a evolução das atividades de produção que visam atender cada vez mais as necessidades específicas dos clientes e viabilizar a expansão da empresa, aumentando seu portfólio e seu volume de produção.

O desafio está em implementar novas tecnologias introduzindo conceitos da Indústria 4.0 para maximizar os ganhos. Neste sentido realizamos uma análise detalhada dos processos de logística com o objetivo de responder a seguinte questão: Quais processos tem alto número de mão de obra e baixo valor agregado? E identificamos o processo de recebimento de peças, onde os operadores com o auxílio de leitores de código de barras lêem mais de 12.000 etiquetas por dia, gerando volume de trabalho para 9 pessoas e a ocupação de 1.250m² de área no armazém logístico para organização da carga de forma a permitir a leitura dos códigos.

Assim o objetivo é desenvolver um projeto para substituir os leitores por câmeras para automação da leitura dos códigos, este sistema está inserido na Indústria 4.0 como visão computacional.

A implantação das câmeras visa eliminar a ocupação da área (m²) no armazém logístico que é destinada à alocação provisória das paletes para a realização da leitura com o scanner manual; aumentar a acuracidade da conferência das peças pela redução da intervenção humana no processo; tornar o tempo para a conferência das peças mais curto; eliminar os riscos ergonômicos da operação e gerar dados em tempo real para tomada de decisão sobre a disponibilidade ou não de insumos para a produção.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Devido ao mercado globalizado, bem como a concorrência acirrada que o acompanha, as empresas enfrentam novos desafios em termos de custo, qualidade e tempo. O número crescente

de concorrentes e a mudança do mercado para o foco no cliente permite que estes escolham uma variedade de produtos diferentes com alto grau de liberdade. Isso aumenta a necessidade de produtos individuais, exigindo alta flexibilidade por parte das empresas, tornando necessário implementar uma produção customizada para atender as expectativas do cliente.

No livro Planejamento e Controle da Produção (Lustosa, Mesquita, & Oliveira, 2008) trazem a evolução histórica dos processos de controle de produção desde o início da produção em massa que aconteceu com a Revolução Industrial no início do século XX com os conceitos de administração de Frederick W. Taylor e Henry Fayol, passando pelo grande desafio da década de 90 onde o foco foi a redução de lead time, atendimento de prazos e baixo custo, nesse momento deu-se atenção especial à aquisição, movimentação e armazenagem de materiais e a Logística passou a ser parte estratégica para as empresas, e no campo metodológico a influência do Sistema Toyota de Produção que se iniciou na década de 80 vem ganhando forças, com sua visão de produção enxuta (Lean) que busca reduzir drasticamente os estoques na cadeia produtiva com a padronização dos processos, combinando as vantagens da produção em massa com a customização.

Atualmente, a produção enxuta (Lean) incorpora diversas técnicas consagradas pela Teoria das Restrições (TOC), Gestão da qualidade Total e pelo próprio JIT (just-in-time) de modo a alcançar alta flexibilidade e alto volume de produção (Lustosa et al., 2008).

O Toyotismo, termo vinculado ao Sistema Toyota de Produção, tem como característica uma produção mais diretamente vinculada à demanda e a construção de processos de produção mais enxutos e flexíveis (Pinto & Antunes, 2018).

Para suportar essa nova característica do mercado, os processos e métodos ao longo de toda a cadeia de valor devem ser projetados de maneira eficiente e flexível e seu resultado precisa ser monitorado para retroalimentar o sistema com informações rápidas para tomada de decisão e neste contexto conectamos o Lean com a Indústria 4.0.

A proposta da Indústria 4.0 é fazer uso da tecnologia para gerar dados, tornar visível o resultado de cada etapa do fluxo de valor em tempo real e assim permitir maior integração entre os elementos da cadeia, tornando as decisões gerenciais mais rápidas e assertivas (Anderl, 2014).

O Lean entra como base para organização e padronização dos processos e a Indústria 4.0 com a tecnologia para monitorar e gerar as informações em tempo real dando suporte à tomada de decisões, tornando a empresa mais ágil e flexível para reagir ao mercado e as necessidades dos

clientes, gerando um diferencial competitivo. Neste ponto, surge a necessidade de entender como as abordagens podem ser combinadas e qual o impacto desta correlação.

Então supõe-se que as implementações da Indústria 4.0 podem reduzir a complexidade dos sistemas de produção, resultando em processos mais enxutos e gerenciáveis, porém a implantação de novas tecnologias também exige padronização e estabilidade dos processos e operações. Isso leva à segunda suposição de que implementações do Lean devem ser aplicadas como premissas, permitindo a maximização da eficácia das tecnologias da Indústria 4.0. (Prinz, Kreggenfeld, & Kuhlenkötter 2018).

1.2 - QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO

Através da problemática apresentada acima e de acordo com o tema “Lean e a Indústria 4.0 – importância da padronização dos processos na implantação de projetos de tecnologia” o objetivo desta tese de mestrado é medir o quão importante é a padronização dos processos para o sucesso de um projeto de aplicação da Indústria 4.0; sendo assim a questão a ser respondida é: Qual o impacto da aplicação dos conceitos Lean nos processos para a implantação de um projeto de Indústria 4.0?

Para responder esta pergunta durante o desenvolvimento e implementação de um projeto de Indústria 4.0 intitulado “Portal de Câmeras” medimos o nível de maturidade da padronização de todas as variáveis que influenciaram diretamente no sucesso da leitura dos códigos de forma a correlacionar como a aplicação dos conceitos Lean impactaram no sucesso da implantação da Indústria 4.0.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo vamos nos dedicar a trazer os conceitos teóricos que estão ligados ao tema principal da dissertação, visto a existência de vasta bibliografia e uma imensidão de ferramentas e conceitos que podem ser explorados, iremos focar nos conceitos do Lean, Logística, Indústria 4.0 e suas correlações, limitados ao que será abordado no estudo. Sendo assim o compromisso deste capítulo é trazer todas as informações teóricas de base para o completo entendimento do projeto que será apresentado.

2.1 LEAN

O termo Lean surgiu do TPS (Toyota Production System) e é uma filosofia de administração da manufatura, que consiste na padronização e simplificação dos processos com foco principal na eliminação de desperdícios, nascida no Japão, especificamente na Toyota Motor Corporation, como estratégia de sobrevivência frente as dificuldades encontradas no pós-Segunda Guerra (Suzaki, 2010). Naquele momento a empresa passou por inúmeras dificuldades e o vice-presidente da empresa Taiichi Ohno idealizou um sistema enxuto e com a participação efetiva de seus empregados iniciou um modelo de produção que permitiu a sobrevivência da companhia (Womack, Jones, & Roos, 1990), e com o passar dos anos e através da evolução deste sistema a fez prosperar, tornando a Toyota uma marca mundialmente conhecida, presente nos cinco continentes (Fujimoto, 2000).

O sistema Lean dá um novo enfoque ao uso dos recursos. A necessidade verdadeira de recursos consiste na necessidade real, natural, ou seja, aquela resultante de atividades que agregam valor. Todas as outras necessidades, oriundas de atividades que não agregam valor, são na verdade desperdícios (Pedrão, 2014).

De acordo com Liker (2004) diz que o TPS não é um kit de ferramentas, é um sistema sofisticado de produção em que as partes contribuem para o todo. O todo, em sua base, concentra-se em apoiar e estimular as pessoas para que continuamente melhorem os processos em que trabalham.

O termo Lean foi popularizado no livro "A Máquina que Mudou o Mundo" (Womack et al., 1990), os autores enfatizam a diferença de desempenho significativa entre as indústrias automotivas japonesas e ocidentais. Descrevem os principais elementos responsáveis por esta superioridade dando ênfase para eliminação de desperdícios, evidenciando o emprego reduzido

de: esforço humano, investimento de capital, instalações, estoques e tempo, no desenvolvimento e fabricação de produtos, fornecimento de peças e relações com os clientes.

Em meados dos anos 90 os princípios Lean saíram do chão de fábrica e começaram a ser utilizados por empresas ao redor do mundo para gerenciar diferentes áreas das organizações, se tornando uma ferramenta efetiva agilizando os ciclos das atividades, controlando os recursos, reduzindo os desperdícios e aumentando a eficiência. (Pedrão, 2014)

De forma concisa os conceitos do Lean são representados nos estudos de Liker (2004) que aponta quatorze princípios como componentes do modelo Toyota:

- 1) Filosofia de longo prazo, as decisões são baseadas em uma filosofia de longo prazo, mesmo em detrimento de metas financeiras de curto prazo;
- 2) Fluxo de processo contínuo para trazer os problemas à tona;
- 3) Uso de sistemas puxados para evitar superprodução (just-in-time);
- 4) Nivelamento da carga de trabalho (heijunka);
- 5) Cultura de parar e resolver problemas, assegurando a qualidade na fonte (Jidoka);
- 6) Padronização como base para a melhoria contínua e a capacitação dos funcionários;
- 7) Controle visual para que nenhum problema fique oculto;
- 8) Emprego de tecnologia confiável que atenda aos funcionários e processos;
- 9) Desenvolvimento da liderança para que compreendam completamente o trabalho, vivam a filosofia e ensinem os outros;
- 10) Desenvolvimento de pessoas e equipes excepcionais que sigam a filosofia e ensinem os outros;
- 11) Respeito pelos parceiros e fornecedores desafiando-os e ajudando-os a melhorar;
- 12) Ver por si mesmo in-loco para compreender completamente a situação (genchi genbutsu);
- 13) Tomar decisões lentamente por consenso, considerando completamente todas as opções, implementá-las com rapidez;
- 14) Ser uma organização de aprendizagem por meio de reflexão incansável (hansei) e da melhoria contínua (kaizen).

Tudo isso seguindo sempre a mentalidade típica do Sistema Lean: que prega a simplificação contínua dos processos e dos fluxos, deixando de lado o típico pensamento tradicional da "gestão da complexidade", evitando ocultar as falhas e carências (Pedrão, 2014).

Um ponto importante que merece destaque visto a sua conexão com o tema principal deste estudo, é que os principais conceitos do Lean são independentes da tecnologia, embora possam ser aplicados em conjunto com os avanços tecnológicos (Pedrão, 2014).

Abordaremos com mais propriedade quatro dos elementos, por estarem diretamente relacionados com o estudo.

2.1.1 Eliminação de Desperdícios

Para a aplicação correta do Lean é necessário avaliar os processos pela perspectiva do cliente. A principal questão é “O que o cliente espera como resultado do processo?”. Um conceito muito forte trabalhado dentro da Toyota é o entendimento de que o cliente sempre é a próxima etapa do processo de produção e a partir desta visão e da busca do entendimento da real necessidade é possível entender o que agrega valor e o que é desperdício. A “visão do cliente” pode ser aplicada a qualquer processo de manufatura, informação ou serviço (Pedrão, 2014).

Com base na visão do que agrega ou não valor a Toyota identificou e classificou os sete maiores desperdícios ou atividades que não agregam valor nos processos, sejam esses de manufatura ou não. Importante entendermos que existem etapas que não agregam valor, mas que são necessárias para a concretização do processo, o foco do Lean é identificar e eliminar o que é desperdício puro, que não agrega valor e é desnecessário (Womack & Jones, 1997).

Shingo (1996) afirma que, para uma redução efetiva dos custos da produção, os desperdícios devem ser analisados e ponderados, pois existe uma relação entre si e são muitas vezes ocultados pela complexidade de uma grande organização. Nesse contexto, Ohno (1997) definiu as sete categorias de desperdícios na produção:

1. Desperdício de Superprodução: é se antecipar à demanda, causando excesso de mão de obra, de estoque, e/ou de capacidade instalada, aumentando os custos fixos, de transportes e ainda gerando necessidade de inventários. O objetivo será produzir de acordo com as encomendas dos clientes (Shingo, 1981);
2. Desperdício de Espera: trata-se do material que está esperando para ser processado. As esperas podem surgir de quebras de equipamentos, de setup ferramental, de atrasos na liberação dos recursos, da falta de material ou mão de obra, de layout deficiente, da interrupção de sequência de operações ou da existência de gargalos (Shook & Rother, 1999);

3. Desperdício de Transporte: é o transporte excessivo do material ao longo processo, e inclui todo o tipo de transportes desnecessários que não adicionam valor ao produto e aumentam o lead time (Karlsson & Ahlstrom, 1996).
4. Desperdício de Processamento: trata-se do desperdício inerente a um processo não otimizado, seja por uma máquina mal desenvolvida, pelo design da peça ou pela falta de instruções e procedimentos claros, sendo necessário a realização de funções ou etapas extras do processo para compensar o mal planejamento (Ohno, 1988).
5. Desperdício de Estoques: trata-se do excesso de material, em processo ou acabado, que geram custos extras de armazenagem, impedem a detecção rápida de defeitos de qualidade, aumenta o manuseio de materiais, e o risco de obsolescência de material (Karlsson & Ahlstrom, 1996);
6. Desperdício de Movimentação: são os desperdícios presentes nas mais variadas operações do processo produtivo, decorrentes da interação entre o operador, máquina, ferramentas e o material dentro do posto de trabalho (Ohno, 1988);
7. Desperdício de Produzir Produtos Defeituosos: são os desperdícios gerados por problemas de qualidade, que geram descarte ou retrabalho. Produto com defeito significa desperdício de materiais, mão de obra, uso de equipamentos, além da movimentação e armazenagem de materiais defeituosos e a necessidade da inspeção de produtos (Ohno, 1988).

Cabe ressaltar que em seus estudos, Liker (2004) identificou e classificou um oitavo desperdício:

- 8 Desperdício de Capital Humano: perda de tempo, ideias, conhecimentos e oportunidades de melhoria, por não motivar ou ouvir seus colaboradores.

O objetivo da eliminação dos desperdícios é o que caracteriza uma manufatura geradora de valor, característica essencial do Lean. Shingo (1996) observou em seus estudos que, para uma redução efetiva dos custos da produção, os desperdícios puros devem ser todos analisados de forma criteriosa pois estão inter-relacionados e são facilmente encobertos pela complexidade das organizações.

Portanto, de acordo com Cho (2011), o objetivo está na eliminação de todo o desperdício das operações, e devemos buscar a eliminação de todo o tipo de desperdício e toda a atividade que não produza valor agregado. Ação de desperdício não é trabalho.

2.1.2 Processos e Padronização

A padronização dos processos é considerada a base para a evolução do Lean, Powell, Alfnes, Strandhagen, & Dreyer, (2013) consideram que a padronização é um dos fundamentos básicos do Lean, apesar de não haver uma sequência pré-definida para a implantação do Lean antes de aprofundar em outros elementos é necessário estabelecer um padrão consistente dos processos, a frase histórica de Taiichi Ohno que diz “Onde não há padrão, não pode haver melhoria”, (Ohno, 1998), reforça o entendimento desta necessidade.

A importância da padronização está em tornar clara as anormalidades, para que as ações corretivas possam ser tomadas, (Dennis, 2009). A padronização serve para aumentar produtividade, na medida em que possibilitam a redução de diversos desperdícios e erros de fabricação (Bragança & Costa, 2015).

Mas afinal, o que é padrão? Padrão é aquilo que deve acontecer, uma imagem clara da condição desejada, um padrão para ser efetivo deve ser simples e de fácil entendimento para quem vai executá-lo (Dennis, 2009). O padrão consiste em um conjunto de procedimentos de trabalho (uma rotina padrão) que visa estabelecer os melhores métodos e sequências para cada processo e para cada trabalhador (Feng & Ballard 2008).

A padronização contribui para a estabilidade dos processos e segundo (Smalley, 2006), estabilidade implica em previsibilidade e disponibilidade consistente em termos de mão de obra, máquinas, materiais e método.

2.1.3 Just in Time (JIT)

O Just in Time refere-se a eliminar os desperdícios do processo de produção. É essencialmente uma filosofia, mais do que uma série de técnicas e ferramentas, que visa a redução de custos através da eliminação dos desperdícios (Sohal, Ramsay, & Samson, 1993). Consiste em uma metodologia de produção que visa melhorar a produtividade através da eliminação de desperdícios e do aumento da qualidade (Voss & Robinson, 1987).

Com a aplicação correta do JIT é possível eliminar os 7 desperdícios, aumentar a eficiência do trabalho e produzir e somente o necessário na hora e quantidades necessárias. (Pinto, Matias, Pimentel, Azevedo, & Govindan, 2018). Nos processos de manufatura permite a eficácia do custo entregando somente a quantidade necessário, com a qualidade estabelecida, no momento e local corretos, fazendo uso otimizado dos recursos (Voss & Robinson, 1987)

Conforme Monden (2015), para que seja possível implantar a produção JIT é necessário que todos os processos estejam associados a uma sincronização precisa e a quantidades requisitadas.

Para facilitar o entendimento vamos utilizar uma linha de produção como exemplo. Na linha de produção, as peças vão sendo montadas em cada processo conforme o fluxo; nesse caso, se faltar uma única peça, a montagem não será possível e o produto não será acabado. Ao contrário, se o fornecimento de peça for muito rápido, formam-se pilhas de estoque em cada processo, impactando na movimentação e impedindo a montagem. Se estabelecermos as informações das sequências dos processos de montagem, instruindo a quantidade necessária dos insumos e o momento exato de sua aplicação e utilizarmos isso como input tanto para a cadência dos processos anteriores quanto para a logística de abastecimento, é possível conectar toda cadeia, assim satisfazendo às condições para a aplicação do Just in Time.

O JIT é dependente do equilíbrio entre a flexibilidade do fornecedor e a flexibilidade do usuário. Ele é alcançado por meio da aplicação de elementos que requerem um envolvimento total. Uma filosofia chave do JIT é a simplificação (Slack, Chambers, & Johnston, 2009).

Conforme colocado por Cho (2011) “Preocupamo-nos com os processos seguintes, como clientes, fornecendo a cada um a dose necessária de qualidade, de produtos e serviços na hora certa.”

2.1.4 Jidoka

O termo Jidoka significa garantir que ao menor problema detectado em uma máquina/equipamento, ou em uma linha de trabalho manual o processo deve parar, impedindo o fluxo de defeito, permitindo que as pessoas atuem na sua correção e evitem a recorrência do problema (Boakye-Adjei, Thamma, & Kirby, 2014).

O objetivo do Jidoka é sempre produzir com qualidade cem por cento, ou seja, garantir a qualidade na fonte, entendendo que no processo posterior está o cliente e jamais enviar peça defeituosa ao cliente. Para isso deve-se desenvolver máquinas e equipamentos com sistemas capazes de identificar o defeito e parar (Ghinato, 2006).

O ponto mais importante de Jidoka, é identificar o ponto de ocorrência do problema e tomar contramedida rapidamente para evitar a recorrência (Shingo, 1986). Mesmo usando as melhores máquinas e equipamentos e produzindo com um método padronizado, é difícil evitar totalmente a ocorrência de defeitos e a necessidade de reparo. Se ocorrer defeito ou reparo, deve-se pensar na

contramedida e tomá-las. Para a prevenção de recorrência deve-se estudar o defeito ocorrido a partir de diversos ângulos, buscar a causa raiz (verdadeiro motivo) e tomar contramedidas.

Ainda segundo Shingo (1986), para a tomada de contramedida, pode-se pensar em dois métodos, emergencial ou duradouro, se a contramedida for apenas emergencial, há grande possibilidade de recorrência o objetivo principal é buscarmos o verdadeiro motivo e trabalharmos para eliminá-lo tomando uma contramedida duradoura. O Lean nos traz várias metodologias e ferramentas que contribuem para um pensamento sistêmico na busca da solução definitiva dos problemas.

O significado da palavra Jidoka significa simplesmente automação, porém para representar melhor a filosofia desenvolvida pelo Sistema Toyota de Produção, a palavra foi traduzida para o inglês como “autonomation”, a sílaba no passou a compor a palavra dando o sentido de “automação com um toque humano”, e no português costumamos encontrar o Jidoka sendo representado pela palavra “automação” (Ghinato, 2006).

A “automação” significa que máquinas inteligentes são capazes de identificar anormalidades na produção e parar automaticamente, evitando a fabricação de produtos defeituosos (Buer, Chan, & Strandhagen, 2018).

Um dos objetivos do Sistema Lean é a busca sistemática pela eliminação dos desperdícios. A qualidade do produto, trabalho ou serviço constitui fator determinante dessa busca. Jidoka tem um papel fundamental nessa interação, pois é através da compreensão e aplicação dos seus conceitos e ferramentas que se alcança a dimensão qualidade (Shingo, 1986).

Nesse contexto, (Cho, 2011) afirma que “Os problemas devem ser informados pronta e honestamente, a fim de facilitar soluções rápidas e contrapor medidas corretivas. A autoridade na identificação e na correção de problemas reside nas atividades mais próximas do trabalho e do cliente.”

Ghinato (2006) complementa ainda afirmando que “a essência é impedir a geração e propagação de defeitos e eliminar qualquer anormalidade”. Dessa forma, quando a máquina ou o operador param a linha de produção, imediatamente o problema torna-se visível. Isto desencadeia um esforço para identificar a causa raiz e eliminá-la, evitando a reincidência do problema e consequentemente reduzindo as paradas da linha.

Para a comunicação das paradas de linha a Toyota utiliza como ferramenta o Andon, que é basicamente um conjunto de informações visuais e sonoras estrategicamente posicionado, capaz

de transmitir mensagens/orientações sobre as condições da linha de produção ou qualquer processo e, em caso de parada, apontam exatamente qual o posto requer assistência.

(Silva & Baranauskas, 2000) definem o Andon como um sistema com função de apoiar o trabalho colaborativo em uma organização de manufatura enxuta. Sendo assim, entendemos que o Andon consiste em uma ferramenta que dá suporte ao conceito do Jidoka, fazendo com que as paradas sejam comunicadas imediatamente aos responsáveis para que esses atuem reestabelecendo a condição normal da máquina ou do processo. Na Toyota existe um slogan que diz: Pare, Chame e Espere, e os operadores são orientados desde sua entrada na empresa a não ocultarem os problemas e defeitos, a todo o tempo a liderança comunica que não há problemas em parar a linha de produção, o problema está em gerar defeitos e em manter a linha parada, deixando clara a necessidade de acionar o Andon para que as providências sejam tomadas.

Andon é uma ferramenta de manufatura enxuta implantada como parte do gerenciamento visual para impulsionar a comunicação na indústria. Para alcançar resultados satisfatórios os sistemas de comunicação devem ser atualizados onde quer que os componentes da indústria 4.0 estejam conectados (Ito, Abd Rahman, Mohamad, Abd Rahman, & Salleh, 2020).

2.2. LOGÍSTICA

A identificação da Logística como uma atividade mais abrangente e de grande importância para as empresas data das últimas décadas. O Council of Supply Chain Management Professional (CSCMP) diz que a Logística é a parte da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla de forma eficiente, o fluxo inbound e outbound, a armazenagem de mercadorias, serviços e informações, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender as necessidades do cliente (CSCMP, 2007).

As atividades de gestão da logística também são definidas pela CSCMP e incluem tipicamente a gestão de transporte, gestão de frota, armazenagem, manipulação de materiais, cumprimento de pedidos, projeto de rede logística, gestão de estoque, planejamento de oferta/demanda e gestão de prestadores de serviços logísticos de terceiros. Em graus variados, a função da logística também inclui aquisição, planejamento e programação da produção, empacotamento e montagem e serviços customizados. É envolvida em todos os níveis de planejamento e execução estratégicos, operacionais e táticos. A gestão logística é uma função de integração, que coordena e otimiza

todas as atividades da Logística, além disso integra essas atividades com outras funções como marketing, vendas, finanças e tecnologia da informação (CSCMP, 2007).

Já Christopher (1997) define logística como sendo o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenagem de materiais, peças e produtos acabados (e os fluxos de informações correlatas) através da organização e seus canais de marketing, de modo a poder maximizar as lucratividades presente e futura através do atendimento dos pedidos a baixo custo.

Segundo Ballou (2001), a missão da Logística é dispor a mercadoria certa, no local definido, no tempo acordado e na qualidade desejada, ou seja, a missão da logística é ser Lean, uma boa operação logística deve aplicar o Just in Time na sua essência.

A logística ganhou ainda mais importância para as empresas com a intensificação do comércio eletrônico, que teve um crescimento ainda mais acentuado no cenário da pandemia que exigiu do consumidor o isolamento social, a tempo para a entrega dos itens é um grande diferencial o que faz com que as empresas precisem investir cada vez mais em agilidade e a aplicação do Lean em seus processos é uma forte aliada para alcançar a eliminação dos desperdícios e assim tornar os processos mais rápidos e eficientes.

2.2.1 Logística LEAN

A Logística Lean é a aplicação dos princípios do TPS – Toyota Production System no planejamento e melhoria dos processos e operações de recebimento, armazenagem, abastecimento, distribuição e transporte (Ferro, 2006)

De acordo com Ferro (2006), dos desperdícios clássicos definidos por Taiichi Ohno, quatro deles (movimentação, espera, estoque e transporte) estão associados ao processo logístico. Considerando a logística como um processo, Jones (1997) define que a otimização isolada de cada parte da cadeia de suprimento não leva à solução de mais baixo custo, sugerindo a necessidade da avaliação do fluxo logístico para a maximização dos resultados.

A logística tem um papel crucial na implantação da filosofia Lean, pois é ela que assegura o a chegada dos materiais ao ponto de aplicação da maneira mais eficiente possível. Para garantir a evolução dos setores da manufatura, do comércio e de serviços, é necessário que a Logística repense e acompanhe sua sistemática de trabalho, que são, muitas vezes, focadas em otimizações pontuais de transportes, sem pensar na eficiência do sistema como um todo (Lodi, Souza, Ramos Junior, Ker, Gonçalves, & Rodrigues, 2019).

Repensar o fluxo logístico, eliminar os desperdícios e utilizar a tecnologia como aliada na otimização do processo são os desafios que os profissionais de logística buscam superar, e nesse contexto os temas Lean e Indústria 4.0 ganham ainda maior relevância.

A logística Lean tem como principal objetivo criar um fluxo contínuo e eliminar as estagnações, permitindo as empresas a alcançarem um diferencial competitivo frente a seus concorrentes (Lodi et al, 2019).

A disciplina da logística é extremamente ampla, para melhor resultado deste trabalho iremos focar na logística da manufatura, não impedindo que esses conceitos e técnicas sejam aplicados amplamente nos outros setores.

2.2.2 Movimentação de Materiais

Para garantir um processo Lean, é imprescindível fazer fluir os materiais com precisão. Antes de se introduzir um sistema Lean de movimentação de matérias precisamos entender e desenhar o fluxo de cada material, desde seu pedido até o momento de sua aplicação.

Segundo Harris, Harris, & Wilson (2004), para melhor entendimento podemos organizar as informações necessárias da seguinte forma:

1. Plano para cada peça (PPCP): um processo para descrever com precisão como cada peça deve ser gerenciada, desde o pedido até o seu ponto de uso;
2. Supermercado: um estoque mínimo no ponto de recebimento para armazenar e controlar as peças necessárias para abastecimento na produção;
3. Rotas de abastecimento: um sistema de entrega que seja preciso para levar as peças até o seu ponto de uso.

A seguir serão detalhadas cada uma dessas etapas para se fazer os materiais fluírem, vistos que são conceitos cruciais para o entendimento do projeto que será apresentado.

2.2.2.1 Plano Para Cada Peça (PPCP)

Plano para cada peça (Plan For Every Part) é um plano detalhado para cada peça utilizada em um processo de produção, mostrando todos os detalhes relevantes para garantir o desenho ideal do processo (Conrad & Rooks, 2010). Um bom plano para cada peça deve ser formado por uma base de dados rica em detalhes que deve conter as informações da identificação das peças, dados do fornecedor, lead time de produção, localização do ponto de coleta, local de recebimento, pontos

de estocagem, pontos de uso, taxa de utilização, dimensão e composição das embalagens e outras informações, ou seja, é uma base criada com os dados necessários para os cálculos de leadtime e estoques (Conrad & Rooks, 2010). De acordo com o Léxico Lean, o Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean, o intuito é de especificar todos os aspectos que influenciam na logística de cada peça (Léxico Lean, 2007).

2.2.2.2 Supermercado

O supermercado foi definido, segundo o Léxico Lean, como sendo um local onde um estoque padrão predeterminado é mantido para o fornecimento contínuo de peças para os processos produtivos. Cabe ressaltar ainda que a localização dos supermercados deve ser planejada de forma estratégica para maximizar o fluxo contínuo das peças, além de atender de forma otimizada a produção (Léxico Lean, 2007).

Cada item em um supermercado tem sua localização e quantidade definidas, de onde o operador retira os produtos nas quantidades necessárias para ser entregue ao processo seguinte (Swank, 2003).

Segundo Womack, Jones, & Daniel (2005), o primeiro passo para a criação do supermercado é calcular o uso de cada item conforme demanda do processo e solicitar esta quantidade ao fornecedor, combinando a frequência e prazo de entrega, efetuando ajustes de mínimo e máximo sempre que houver mudanças de demanda, além das quantidades, também é importante conhecermos as dimensões das embalagens para calcular a área necessária que deve ser dedicada para cada peça, o peso de cada embalagem para que o desenho do supermercado atenda as condições ergonômicas. Com o supermercado implantado e regras necessárias para operar o supermercado de forma eficiente, devem ser estabelecidas (Harris et al., 2004), destaca a importância de termos procedimentos estabelecidos para os processos de armazenagem e retirada das peças, tempo de estoque permitido, procedimentos para reagir a estoques além dos níveis máximos e aquém dos níveis mínimos.

2.2.2.3 Rotas de Abastecimento

Após ter definido o PPCP e o Supermercado, o próximo passo é desenvolver as rotas de entrega dos materiais para transportar de forma eficiente do supermercado ao ponto de consumo (Jim

Wu, 2002). Conforme proposto por Harris et al. (2004), para estabelecer um sistema de informações e uma rota que entregue somente as peças que os operadores necessitam, na quantidade necessária, quando necessário e onde necessário, precisamos:

- Ter um mapa detalhado dos pontos de consumo para traçar as rotas;
- Definir o método de transporte para entregar as peças (carrinhos elétricos, empilhadeira, manual);
- Determinar os pontos de parada e de entrega para a rota;
- Criar prateleiras de tamanho certo nos pontos de entrega;
- Ter um sistema de comunicação para sinalizar o momento correto de início de cada rota (Andon).

2.3 INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial foi criado na Alemanha, pelo governo com o objetivo de manter a vanguarda da indústria através de uma estratégia de aplicação da tecnologia na manufatura (Drath & Horch, 2014).

Segundo Dombrowski, Richter, & Krenkel (2017). A Indústria 4.0 utiliza de tecnologias no ambiente industrial com o objetivo de tornar as fábricas mais inteligentes e flexíveis. Cabe ressaltar que não se refere ao advento de uma nova tecnologia, mas sim da utilização em conjunto de tecnologias pré-existentes e desenvolvidas há alguns anos e que, até então, não eram utilizadas em escala em função de seus altos custos e de infraestruturas ineficientes, principalmente no que se refere ao tráfego de dados. Entretanto, agora tais tecnologias podem ser aplicadas com o objetivo de garantir a conectividade e integração dos processos gerando dados em tempo real, garantindo as informações necessárias para tomada de decisão, o que permite que as empresas atendam proativamente as necessidades dos clientes. Dessa forma, a Indústria 4.0 pode fornecer uma estrutura para abordar a produtividade, rastreabilidade, transparência e eficiência, itens que são conhecidos como grandes desafios na gestão (Abdirad & Krishnan, 2020).

A indústria 4.0 descreve a transição da produção centralizada para a uma produção flexível e autocontrolada. Nessa produção, os produtos, os sistemas e todas as etapas do processo são digitalizados e interconectados para compartilhar e transmitir informações e para distribuir essas informações ao longo das cadeias de valores verticais e horizontais e além em extensas redes de valor (Leyh, Martin, & Schäffer, 2017).

Encontramos muitos artigos recentes sobre o tema, mas não existe uma definição em âmbito mundial, assim o Ministério Federal de Economia e Energia alemão, que lançou em 2013 uma plataforma online sobre Indústria 4.0. Esse sistema permite que empresas, universidades e pesquisadores, conselhos de trabalhadores e institutos de política se comuniquem e trabalhem em conjunto, no intuito de desenvolver recomendações e diretrizes comuns sobre a Indústria 4.0. Nesta plataforma encontramos como principal ponto para a Indústria 4.0 que não é o computador que é a tecnologia central, mas sim a Internet, a rede de comunicação, é o que permite conectar e capturar as informações de cada parte dos processos em tempo real, transformando dados em informações para tomadas de decisão rápidas e direcionamento de toda a cadeia (Arbix, Salerno, Zancul, Amaral, & Lins, 2017).

A Indústria 4.0 combina métodos de produção com tecnologia de informação e comunicação de última geração. A base tecnológica é fornecida por sistemas inteligentes, conectados em rede digital que possibilitam processos de produção em grande parte autogerenciáveis; no mundo da Indústria 4.0, pessoas, máquinas, equipamentos, sistemas logísticos e produtos se comunicam e cooperam entre si. Com a aplicação desse conceito, a interação humana seria minimizada e a produtividade aumentaria nas empresas (Kayikci, 2018).

Alguns benefícios claros podem ser identificados a partir da implementação da Indústria 4.0. Os benefícios mais relevantes são maior flexibilidade, padrões de qualidade, eficiência e produtividade. Isso permitirá a personalização em massa, permitindo que as empresas atendam às demandas dos clientes, criando valor por meio da introdução constante de novos produtos e serviços no mercado. Além disso, a colaboração entre máquinas e humanos pode impactar socialmente a vida dos trabalhadores do futuro, especialmente no que diz respeito à otimização da tomada de decisões (Tjahjono, Esplugues, Ares, & Pelaez, 2017).

Desta forma, os desejos dos clientes por tudo, desde a ideia do produto até a reciclagem, podem ser levados em conta, assim como os serviços relacionados. Isso permite que as empresas produzam produtos que são personalizados de acordo com as necessidades individuais dos clientes com mais facilidade do que antes. A produção e manutenção individual de produtos pode se tornar a nova realidade (Arbix et al., 2017).

A partir da literatura existente, é claro e tem sido repetidamente destacado que dentro das indústrias, uma abordagem interdisciplinar é essencial para o desenvolvimento da Indústria 4.0 (Yang & Gu, 2021).

2.3.1 Lean e a Indústria 4.0

Como abordamos na problematização, se as empresas simplesmente implementarem tecnologia sem organizarem os processos e operações correm o risco de monitorar desperdícios e gerar informações que podem levar a tomadas de decisões errôneas. Encontramos na bibliografia artigos que correlacionam os temas.

De acordo com Dombrowski, et al., (2017), na Alemanha, berço da Indústria 4.0, o Lean foi estabelecido e se tornou um padrão da indústria. Atualmente, 90% das empresas de manufatura já implementaram os princípios e métodos do Lean no ambiente de produção. Os processos e procedimentos dessas empresas são frequentemente estruturados e organizados de acordo com os princípios do Lean, usando diferentes métodos e ferramentas configurados individualmente para cada empresa. As atividades de melhoria contínua são realizadas pelos trabalhadores no chão de fábrica, considerando as metas corporativas gerais. Um aspecto importante para o sucesso sustentável do Lean é a consistência de metas, processos, princípios de design, métodos e ferramentas aplicadas em toda a empresa.

Bauer, Brandl, Lock, & Reinhart (2018) dizem que a Indústria 4.0 é um termo genérico para vários conceitos digitais, como: IoT, Big Data, Análise de Dados, Digital Twin, Sombra Digital, etc. E que esses conceitos podem não alterar os princípios gerais do Lean, mas são promissores complementos para a implementação bem-sucedida e holística de métodos enxutos.

A indústria 4.0 também utiliza de sistemas ciber.-físicos (CPS – Cyber Physical Systems), que são tecnologias com visão futurista, porém mesmo utilizando o que há de mais inovador, ainda não é factível pensarmos em fábricas cem por cento autônomas, que funcionem inteiramente sem a interação humana, o que temos é o emprego da automação trabalhando de forma a otimizar os processos e o ser humano interagindo de forma complementar (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016). O emprego de sistemas ciber.-físicos torna as máquinas inteligentes, permitindo a automação (Buer, Chan, & Strandhagen, 2018). O que encontramos na literatura atual, é exatamente o conceito puro do Jidoka que Sakichi Toyota desenvolveu em 1890 e que apresentamos em detalhes ao longo deste capítulo.

Em uma revisão detalhada da literatura (Dombrowski et al., 2017) evidenciaram que a utilização de tecnologias em conjunto com processos Lean melhora a performance, trazendo mais eficiência para a produção e para as operações logísticas. Nas análises podemos observar que muitos autores identificam diversas conexões que foram organizadas em quatro categorias: Lean como

base para a Indústria 4.0; Indústria 4.0 como complemento do Lean; Indústria 4.0 impulsionam os resultados do Lean; Indústria 4.0 evoluem os princípios do Lean.

As informações da Tabela 1 relacionam os 15 estudos utilizados como base desta análise detalhada. Como resultado veremos que, a interdependência é identificada e citada na literatura, porém dados e fatos detalhados, que fazem essa correlação, ainda são inexistentes.

Tabela 1 - Análise Detalhada da Correlação entre o Lean e a Indústria 4.0.

Autor	Artigo	Sumário Estudo	Lean como base para a Indústria 4.0	Indústria 4.0 como complemento do Lean	Indústria 4.0 impulsionam os resultados do Lean	Indústria 4.0 evoluem os princípios do Lean
Bauernhansl, T., 2014	Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma.	- Lean e 4.0 não são contraditórios - Lean em conjunto com uma disponibilidade de rede de dados, são a base para <i>Smart Factory</i> .	√	√		√
Becker, K.-D., 2014	Arbeit in der industrie 4.0 – Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. Industrie 4.0 als Chance für die Wettbewerbsfähigkeit von Arbeit.	- <i>Cyber-physical systems</i> (4.0) impulsionam os resultados do Lean. - Lean é pré-condição para a implantação eficiente de 4.0.	√			
Bick, W., 2015	Warum Industrie 4.0 und Lean zwingend zusammengehören. “Man kann auch schlechte Prozesse digitalisieren”.	- Lean e 4.0 são dois conceitos com o mesmo propósito. - 4.0 tem o Lean como base.	√	√	√	
Dombrowski, U.; Richter, T.; Ebentreich, D., 2015	Auf dem Weg in die vierte industrielle Revolution. Ganzheitliche Produktionssysteme zur Gestaltung der industrie - 4.0 Architektur.	- Lean e 4.0 são complementares e compatíveis. - A abordagem da Indústria 4.0 só faz sentido se tiver o Lean como embasamento.	√			√

Döppler, Karl Heinz - Herausgeber Lean Magazin, 2016	Lean Magazin: Lean 4.0 - das Unternehmen der Zukunft!	- O sucesso da implantação do 4.0 depende do nível de experiência que os envolvidos têm com o Lean.- Entendem que podemos utilizar o termo " <i>Lean 4.0</i> ".	√			
Gepro mbH, 2016	Industrie 4.0 und Lean: Ein Widerspruch?	- Ter o Lean como base para o 4.0 não é uma novidade para as CIM (<i>Computer-integrated manufacturing</i>). - Termos como "Smart Lean", são uma tentativa para as indústrias.	√			
Hasse, Ferdinand - Phoenix Contact GmbH & Co., 2016	Lean encontra Industrie 4.0.	- 4.0 aumenta as possibilidades do Lean. - 4.0 acelera o desenvolvimento do Lean.		√		
Hofmann, J., 2014	Lean atende Industrie 4.0.	- Diferentes abordagens que buscam os mesmos resultados. - Processos ruins não permitem a implantação de uma automação de sucesso.	√	√		
Höth, H.-G. m., 2016	Industrie 4.0 versus Produktionssystem.	- 4.0 não é uma contradição do Lean. - 4.0 amplia a filosofia Lean.		√	√	
ifp: Industrie 4.0, 2016	Industrie 4.0: Ein Schlagwort eingeordnet em das Weltbild der Schlanken Produktion.	- 4.0 permite uma maior compreensão dos princípios Lean.				√
Kolberg, D.; Zühlke, D., 2015	Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies.	- 4.0 é o retomada da Automação Lean. - Taiichi Ohno pensou em automação desde os princípios do TPS.		√		
Netland, Torbjørn H. - Associate Professor NTNU and Senior Researcher SINTEF, 2014	Industry 4.0: Where does it leave lean?	- 4.0 suporta e maximiza os resultados do Lean. - Alguns princípios do Lean, talvez percam sua importância.	√			√
Soder, J., 2014	Use Case Production: Von CIM über Lean Production Industrie 4.0.	- Perfeição do Lean vem em conjunto com o 4.0.	√			

Spath, D.; Ganschar, O.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S., 2013	Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0.	- Não há conflitos entre 4.0 e Lean, eles são capazes de se complementar, mas são conceitos diferentes.		√		√
Zuehlke, D., 2010	SmartFactory - Towards a factory-of-things.	- "Não crie coisas complexas com o Lean!". Criar tecnologias Lean, é como criar organizações Lean 4.0, também segue os princípios de evitar desperdícios.	√			

Fonte: Adaptado de Dombrowski et al. (2017)

Em pesquisas atuais o Jidoka é visto como um princípio orientador para a transformação digital contribuindo para o aumento contínuo dos níveis de automação e inteligência, “Incorporar a aprendizagem humana, dá à automação seu toque humano”, diz Romero, Gaiardelli, Powell, Wuest, & Thürer (2019).

Estudos demonstram que o Andon pode ser adotado em fábricas digitais para impulsionar o tempo de resposta com base em informações capturadas em tempo real. As interconexões entre informações como análise de dados de várias máquinas combinadas com computação em nuvem e móvel e internet das coisas têm um efeito significativo na tomada de decisão, bem como na comunicação de produção (Ito et al., 2020).

Conforme a literatura, é possível concluir que existe uma forte relação entre os temas, eles se complementam, impulsionam os resultados e permitem a evolução dos conceitos entre si, porém, não encontramos nenhum estudo que tenha medido o impacto da aplicação do Lean no resultado da implantação de projetos da Indústria 4.0.

2.3.2 Logística e a Indústria 4.0

A introdução da Indústria 4.0 na manufatura tem muitos impactos em toda a cadeia de suprimentos. Os processos de produção e logística precisam estar integrados de maneira inteligente para tornar a fabricação mais eficiente e flexível. Isso facilita as cadeias de valor, que incluem todas as fases do ciclo de vida do produto - desde a ideia inicial de produto, desenvolvimento, produção, uso e manutenção até a reciclagem. A colaboração entre fornecedores, fabricantes e clientes é fundamental para aumentar a transparência em todas as etapas, desde o despacho do pedido até o final da vida útil do produto (Tjahjono et al., 2017). A

interconexão em toda a cadeia de abastecimento é necessária para obter com sucesso os potenciais previstos para a Indústria 4.0 (Müller, & Voigt, 2018).

Ter uma cadeia de suprimentos moderna e ágil é, atualmente, a meta de toda empresa, aceitar pedidos, preparar pedidos e distribuir aos clientes, de maneira mais rápida e transparente (Barata, Rupino Da Cunha, & Stal, 2017). De acordo com Yin, Stecke e Li (2018), uma cadeia de suprimentos integrada pode trabalhar em sistemas dinâmicos e com um alto volume de dados. Além disso, é possível melhorar a eficiência da cadeia de suprimentos, é a promessa de alcançar a satisfação do cliente de forma permanente (Witkowski, 2017)

Os principais benefícios da Indústria 4.0 na cadeia logística são reduzir o tempo de entrega de produtos aos clientes, reduzir o tempo de resposta a um imprevisto e induzir um aumento significativo na qualidade da tomada de decisão (Barreto, Amaral, & Pereira, 2017). A Indústria 4.0 pode ajudar as empresas a suportar processos complicados e dinâmicos em seu centro logístico e a lidar com a produção em grande escala e integração de clientes (Rennung, Luminosu, & Draghici, 2016). Conforme dados da Plataforma Indústria 4.0, na logística otimizada os algoritmos podem calcular as rotas de entrega ideais, as máquinas relatam de forma independente quando necessitam de material e uma rede inteligente permite um fluxo ideal de mercadorias (Arbix et al., 2017).

Abdirad, & Krishnan (2020) realizaram uma revisão sistemática e identificaram como principais desafios para a Indústria 4.0 na Logística, a falta de infraestrutura de tecnologia, a falta de especialistas e funcionários com conhecimento nesta área para iniciar um novo sistema ou remodelar os sistemas existentes a fim de obter o resultado máximo, e identificaram que para a maioria dos gestores, ainda não está claro se há algum benefício ou retorno sobre o investimento e o período de retorno também não é conhecido, por consequência não há apoio e compromisso dos gerentes para a implementação da Indústria 4.0.

Ao longo da revisão bibliográfica identificamos a conexão e a interdependência entre os processos de manufatura e da logística, sendo assim, podemos entender que para que o processo de manufatura evolua e alcance maturidade na implantação da Indústria 4.0 é necessário que os processos logísticos acompanhem esse avanço.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a elaboração desse trabalho incluiu pesquisa bibliográfica com ampla contextualização dos temas em âmbito global e o acompanhamento do desenvolvimento e implantação de um sistema baseado na Indústria 4.0 como estudo de caso.

Devido a vasta e extensa literatura relativa aos temas Lean, Logística e Indústria 4.0, me detive a tratar os conceitos aplicados no estudo de caso, e os dados apresentados nos resultados foram capturados através do acompanhamento detalhado e in loco da implementação de um projeto de Indústria 4.0 na operação logística de uma empresa do setor automotivo que tem o TPS – *Toyota Production System* como seu modelo de gestão e por consequência seus processos e operações desenhados com base no Lean, ressalto que participei de forma efetiva do desenvolvimento e implantação do projeto que serve como estudo de caso dessa dissertação, sendo eu a responsável pela tabulação e análise dos dados, atuando em equipe para monitoramento e solução das ocorrências.

O projeto foi desenvolvido em uma espécie de laboratório, onde reproduzimos um ambiente com as mesmas condições operacionais, nesse ambiente, foram realizados testes e simulações que permitiram o desenvolvimento, análise e validação da tecnologia a ser utilizada na solução. O objetivo da criação desse ambiente para experimentação, foi executar testes e experimentações sem impactar a operação e isolar toda e qualquer interferência das variáveis operacionais para que a equipe se concentrasse no sistema de leitura – definição e configuração do hardware para captura dos dados e desenvolvimento do software para análise e tratativa dos dados.

O Portal de Câmeras somente foi instalado em ambiente operacional, após os resultados atingirem 100% de acuracidade de leitura e interpretação dos dados em 50 tentativas consecutivas, após evidências apresentadas, concluiu-se que o Sistema do Portal de Câmeras, hardware e software estavam homologados, ou seja, aptos para serem instalados no ambiente operacional.

A empresa, então decidiu instalar o Portal de Câmeras em ambiente operacional e, em função de ser uma operação crítica, optou por manter o sistema anterior em funcionamento para comparar os resultados de ambos. Os dados utilizados no estudo de caso são os dados capturados em ambiente operacional, ou seja, após a validação do hardware e do software do Sistema do Portal de Câmeras, e esta análise tem como objetivo medir o quanto as variáveis operacionais impactam no sucesso da implantação de projetos de tecnologia.

O propósito do projeto foi substituir o sistema anterior de checagem de peças que utilizava pistolas de leitura com acionamento manual no processo de recebimento no armazém logístico, por um sistema automatizado de câmeras que dispensava a interação humana para captura dos dados.

Esse processo de checagem é primordial para garantir que os insumos necessários estão disponíveis para a montagem dos veículos, e além de receber as peças conforme pedido realizado é necessário garantir que as peças estejam agrupadas corretamente para que possam seguir o correto fluxo da logística interna, para o abastecimento no ponto exato de consumo na linha de produção.

Dessa forma durante o período de análise, contamos com três informações base para comparativo e validação dos dados:

- 1) Pedido de peças que fora emitido pela montadora para seus fornecedores, contendo, nome das peças, quantidade, informações de roteirização para logística externa e interna;
- 2) Base de dados de recebimento capturada através da leitura dos códigos com pistola manual;
- 3) Base de dados de recebimento gerados através da leitura do Portal de Câmeras.

Ressalto que, a empresa usou durante mais de onze anos o sistema com leitura através de pistola manual, sendo assim havia confiança e estabilidade nos dados gerados por esse sistema.

A captura dos dados para análise foi realizada a cada caixa que chegava no armazém logístico, os dados do pedido das peças e do recebimento capturados pelos dois sistemas eram extraídos, convertidos em ficheiro de excel e comparados, caso qualquer divergência fosse identificada uma pessoa da equipe verificava in loco e registrava a informação da divergência no ficheiro de excel, cem por cento das divergências foram analisadas e registradas, as contramedidas para solução eram tomadas somente posterior registro e análise.

O objetivo de monitorar e registrar cada divergência antes da sua correção, foi quantificar o quanto as variáveis operacionais impactam nos resultados da implantação de projetos de tecnologia. Para isso 100% das leituras realizadas pelo Portal de Câmeras foram comparadas com os resultados das leituras realizadas através de checagem manual com pistola, todas as divergências encontradas foram verificadas in loco e tabuladas em uma base de dados que veio suportar as análises e resultados apresentados nesse trabalho, sendo possível medir a influência da padronização dos processos em um projeto de Indústria 4.0.

4 PORTAL DE CÂMERAS DE LEITURA DE CÓDIGOS NO RECEBIMENTO DE PEÇAS.

A solução foi desenvolvida e implantada em uma empresa que tem como característica principal ser pioneira no desenvolvimento e implantação da filosofia Lean, a empresa utiliza como seu sistema de gestão da manufatura do TPS- *Toyota Production System*, que como vimos anteriormente é o “estado da arte” para o Lean.

Para respeitar o anonimato da empresa, iremos nos referenciar pelo nome AutoMaker, empresa essa que atua no segmento automotivo e montou sua primeira fábrica fora do Japão na década de 50, essa filial montada no Brasil se consolidou e foi ampliada com a construção de três novas unidades, até o momento, e vem apresentando um crescimento significativo no volume de vendas, reforçando sua busca incessante em melhoria contínua, a empresa através de seus colaboradores e com apoio de parceiros, desenvolveu e implementou um projeto que está inserido na Indústria 4.0 como visão computacional.

4.1 JUSTIFICATIVA DA NECESSIDADE E DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DA SOLUÇÃO

A motivação inicial para o desenvolvimento e implantação desta melhoria, se deu em função da necessidade de expansão da produção e introdução do um novo modelo de veículo em uma mesma linha de produção, e por consequência aumento no volume e variabilidade de peças a serem processadas pela logística. Para que o projeto de ampliação da produção fosse aprovado, algumas premissas foram estabelecidas, em específico para a área de engenharia logística as premissas foram a não ampliação do espaço físico do centro logístico, ou seja, novas áreas não deveriam ser construídas e a não contratação de mão de obra, não devendo haver aumento no quadro de funcionários.

Durante os estudos foi identificado o processo de checagem de peças no recebimento como o processo que mais impactava na utilização do espaço físico (layout) e que dependia de um alto número de trabalhadores.

A checagem de peças é necessária para verificar se as peças pedidas aos fornecedores foram recebidas na empresa, permitindo assim, identificar qualquer falha na entrega e tomar as contramedidas necessárias prevenindo que a linha de produção seja impactada e também como são muitos itens movimentados em caixas e paletes há que se verificar se os conjuntos ou agrupamentos de caixas em determinado palete não estão, por exemplo, com peças de rotas de

abastecimento distintas misturadas, neste momento se faz necessário garantir que as definições do PPCP – plano para cada peça, sejam validadas para que o material siga o fluxo interno corretamente, evitando assim retrabalho e desperdícios.

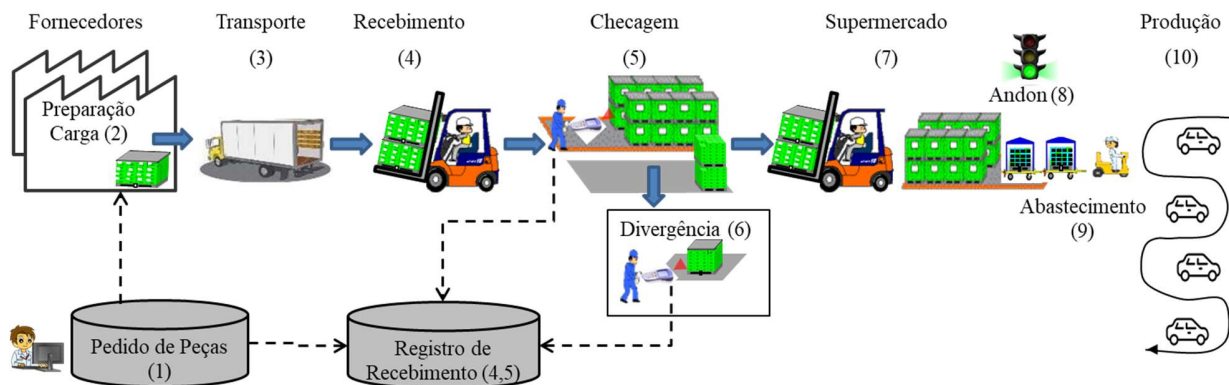
Na operação logística da AutoMaker, além da leitura e armazenamento dos códigos de barras é necessário aplicar validações dos dados capturados, a fim de assegurar o correto processo de recebimento. Como são muitos itens movimentados em caixas/paletes há que se verificar se os conjuntos ou agrupamentos de caixas em determinado palete não está, por exemplo, com peças misturadas ou fora de especificação. Todo este controle é referenciado pelo código de barras, que acompanha as caixas e paletes. Para garantir a qualidade do processo de logística interna na AutoMaker é imprescindível que não haja mistura de rotas de abastecimento distintas nos paletes. Antes da implantação do Portal de Câmeras, a conferência era realizada manualmente com um scanner ou pistola de leitura. A carga depois de retirada do caminhão é disposta espaçadamente em uma grande área, de modo que os operadores possam se movimentar entre os paletes para efetuar a leitura de todas as etiquetas das caixas e dos paletes. O tempo gasto na conferência manual é cerca de três segundos para cada etiqueta e o tempo médio que a carga permanece parada nessa área é de cerca de uma hora. Essa operação gera riscos de segurança e problemas ergonômicos nas pessoas.

A identificação de divergências depende totalmente da atenção do operador, de maneira que se ele porventura não realizar a leitura de alguma etiqueta, entre as milhares lidas, o material recebido não é contabilizado, e, portanto, não é validado. Por vezes vêm etiquetas faltando nas faces das caixas, fato este que pode passar despercebido pelo operador causando erros e retrabalho.

Para melhor entendimento do processo de recebimento e checagem de peças, vamos utilizar a Figura 1 para demonstrar de forma esquemática como processo era realizado quando do início dos estudos, fazendo uso de pistolas de leitura de códigos. (1) O pedido de peças com o Plano de Cada Peça - PPCP era enviado aos fornecedores, (2) os fornecedores preparavam a carga seguindo as premissas acordadas, (3) a carga era transportada até a doca de recebimento do centro logístico, (4) a carga era retirada do caminhão e movimentada por empilhadeiras até a área de checagem, (5) realizada a leitura com o scanner manual, pelos colaboradores da logística, (6) caso o operador ou o sistema identifique qualquer divergência durante o processo de checagem, movimenta-se a carga divergente até o local destinado para a tratativa das divergências, (7) se

não houver divergências, a carga aprovada é movimentada para a área final de espera (supermercado), (8) quando o andon indica a necessidade de abastecimento, (9) as peças são movimentadas para abastecerem a (10) linha de produção.

Figura 1- Processo de recebimento de peças com checagem dos códigos das etiquetas através de pistola de leitura de códigos.



Com base nesse cenário e nas premissas estabelecidas, foram definidos como objetivos do projeto:

- Substituir o processo de checagem manual com pistola de leitura de peças no recebimento de cargas;
- Eliminar a área no centro logístico que era destinada a colocação provisória dos paletes para a realização da leitura com o scanner manual – otimização do layout;
- Eliminar a mão de obra utilizada para leitura manual com uso de pistolas;
- Garantir a mesma confiabilidade da conferência das peças, mesmo sem intervenção humana no processo;
- Tornar o tempo para a conferência das peças mais curto;
- Tornar o processo de conferência das peças mais seguro para os operadores.

4.2 - DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

A operação logística, objeto deste estudo de caso foi a primeira operação nestes moldes implementada pela AutoMaker no mundo o que exigiu um estudo detalhado não só de tecnologia, mas de toda a cadeia logística e seus processos.

O uso de código de barras vem de longa data, o primeiro sistema para codificação automática de produtos foi patenteado em 1952 com o intuito de agilizar a leitura de dados para compra de produtos em supermercados e reduzir mão de obra nos processos. Atualmente, existem diversos tipos de simbologias de códigos (1D, 2D), e equipamentos para leituras como scanners e câmeras. Das inúmeras soluções de leitura de códigos de barras, a mais comum é por meio de scanners com luz fixa e um foto-sensor que é passado sobre o código de barras, lendo apenas um de cada vez.

Após a clarificação do desafio, realizamos benchmark em algumas plantas da AutoMaker no mundo, e encontramos um processo em que os paletes eram desempilhados e desmontados retirando caixa a caixa, que passavam uma a uma por uma esteira e seus códigos eram identificados por câmeras. Esse processo nos inspirou, com a instalação de câmeras poderíamos substituir os coletores e eliminar a leitura manual, porém exigiria espaço para manuseio da carga e mão de obra adicional para desmontar e remontar a carga, não atendendo as premissas definidas e inviabilizando o projeto. Foi aí que nos desafiamos a realizar as leituras com as caixas ainda empilhadas.

4.2.1 - Definição do Conceito Operacional

4.2.1.1 - Estudo 1: Paletes desempilhados sobre esteira rolante.

Iniciamos os estudos considerando desempilhar, não as caixas, mas somente os paletes, a sequência da operação proposta foi descarregar os paletes dos caminhões, desempilhar a carga e passar paleta a paleta por uma esteira, sem desmontar as caixas dos paletes, isso garantiria zero inclinação, velocidade constante e seria possível vincular toda codificação das caixas aos paletes, porém identificamos vários pontos de desperdícios: o tempo para descarregar e desmontar a pilha de paletes antes de sua colocação na esteira, tempo para descarregamento da esteira, remontagem da pilha e posterior movimentação para alocação correta de forma a garantir a distribuição interna das peças. Todo o excesso de manuseio impactou diretamente no aumento do tempo do caminhão parado na doca para descarga, como o maior custo logístico está atrelado ao caminhão esse foi um ponto crucial na invalidação da proposta.

Após análise detalhada de viabilidade chegamos à seguinte conclusão:

- Prós: velocidade constante, zero inclinação e facilidade para associar os códigos das caixas aos códigos dos paletes.

- Contrás: baixa produtividade, aumento na movimentação e manuseio da carga, e aumento de custos, impactando no não atingimento dos targets de redução de mão de obra e otimização de espaço, inviabilizando a proposta.

4.2.1.2 Estudo 2: Paletes empilhados sobre esteira rolante.

No segundo desenho consideramos manter os paletes empilhados, a sequência proposta para o processo foi descarregar os paletes dos caminhões, passar a pilha de paletes por uma esteira (sem desmontar a carga), isso garantiria zero inclinação e velocidade constante, porém identificamos pontos de atenção no estudo: o tempo para descarregar o paleta na entrada da esteira, tempo para carregamento após passagem na esteira e posterior movimentação para alocação correta de forma a garantir a distribuição interna das peças. Todo esse tempo impactou mais uma vez no tempo parado em doca do caminhão gerando aumento de custos.

Após análise detalhada de viabilidade chegamos à seguinte conclusão:

- Prós: velocidade constante e zero inclinação.
- Desafio: correta associação do código das caixas aos códigos dos paletes.
- Contrás: baixa produtividade, aumento na movimentação e manuseio da carga, e aumento de custos, impactando no não atingimento dos targets de redução de mão de obra e otimização de espaço, inviabilizando a opção.

4.2.1.3 Estudo 3: Paletes empilhados sobre empilhadeira.

Nessa opção consideramos realizar o descarregamento dos materiais com a empilhadeira passando pelas câmeras com a carga empilhada ainda sobre a empilhadeira, a operação seguiria a forma anterior de descarregamento do material, não havendo impactos no tempo e nem a necessidade de introduzir uma esteira no processo, porém seria necessário realizar a leitura dos códigos considerando velocidade inconstante e inclinação variável e ainda associar os códigos das caixas aos paletes.

- Prós: atingimento das metas estabelecidas de número de empregados e otimização do layout/espaço.

- Desafios: Velocidade inconstante, inclinação variável, alocação das câmeras no trajeto entre a doca de descarga e a alocação da carga (supermercado), correta associação do código das caixas aos códigos dos paletes.
- Contraste: não foram identificados fatores contrários nessa proposta.

Após apresentação das opções estudadas e em comum acordo com a liderança da empresa o estudo de viabilidade aprovado para desenvolvimento foi o Estudo 3 e como desafios adicionais do projeto, foi definido como meta a leitura de 98% dos paletes na primeira passagem da carga pelo portal e a necessidade de identificação de falhas de leitura, para desvio do paleta para área de divergência e posterior correção, colocando em prática o conceito do Jidoka ou “automação”. Importante clarificar que a meta de 98% de leitura e validação dos paletes foi definida em função da limitação do espaço físico e disponibilidade de mão de obra para tratamento das divergências.

4.2.2 - Experimentação - Ambiente Controlado para Definições de Tecnologia e dos Padrões Operacionais.

Após a definição do conceito de operação e com os objetivos e metas estabelecidos e conhecidos pela equipe, foram selecionados parceiros de mercado especialistas nos temas de captura de imagens e desenvolvimento de sistemas para iniciarmos o processo de escolha da tecnologia, desenvolvimento e testes.

Em um ambiente fora da operação foi montada uma estrutura que simulava as condições reais e que permitia simular os mais diversos cenários da operação. Com o ambiente montado, os testes foram iniciados e a primeira definição foi quanto ao modo de captura de imagens a ser utilizado, ficou clara a necessidade de trabalharmos com a captura das imagens dos códigos e não somente leitura instantânea, sendo assim estudamos e testamos vários modelos e marcas de câmeras, a quantidade e correta disposição dos equipamentos para completa cobertura do campo de visão, após a definição das câmeras observamos que a iluminação era um ponto crítico para a qualidade de captura das imagens, estudamos os modelos e tipos de lâmpadas e quantidade de iluminação ideal para a captura das imagens, ainda assim não estávamos atingindo a percentagem de leitura razoáveis, foi quando iniciamos o estudo sobre os tipos de códigos de barras e definimos ajustar o padrão de codificação das caixas, passando de código de barras tradicional para *data matrix* (código bidimensional) que permitiu aumentar o tamanho dos pixels dos códigos, facilitando o

reconhecimento e interpretação das informações, em complemento foram testados e definidos sensores que quando atuados iniciariam a captura e das imagens.

Em complemento à definição de tecnologia e desenvolvimento do sistema, foram desenhadas premissas para os padrões operacionais, que englobaram:

- Embalagens: padronização do suporte de etiquetas e correta codificação, foi identificada a necessidade de adaptar o suporte de etiquetas de vários modelos de embalagens, fazendo com que os mesmos fossem posicionados no lado da embalagem voltado para as câmeras, e como regra os suportes não podem sobrepor os códigos, deixando-os livres para captura da imagem pelas câmeras; outro ponto ainda sobre as embalagens, é que todos os códigos de identificação que antes eram códigos 1D tiveram que ser substituídos pelos códigos *data matrix*;
- Operação: definição do novo modelo operacional, reorganização do layout, rotas de abastecimento, dimensionamento de recursos, revisão dos procedimentos operacionais e o treinamento os operadores;
- Fornecedores: a preparação da carga que é realizada pelos fornecedores e novas regras foram definidas, o ponto crítico da preparação de carga é a sobreposição/cobertura dos códigos, no modelo de operação de leitura com pistolas o operador é capaz de remover a sobreposição, enquanto que no desenho proposto de leitura automática se qualquer papel, fita ou o próprio suporte da etiqueta estiver sobre o código, esse não será lido e irá gerar divergência, sendo assim o manual logístico foi revisado contendo o novo procedimento e os fornecedores treinados.

Após uma série de testes e ajustes necessários, fizemos a validação do projeto no ambiente de experimentação e como visto na Figura 2, todos os códigos contidos na imagem estão identificados por um quadrado verde, o que demonstra que sua imagem foi capturada e interpretada pelo sistema.

Figura 2- Resultado dos testes, identificação dos códigos através do sistema de leitura.

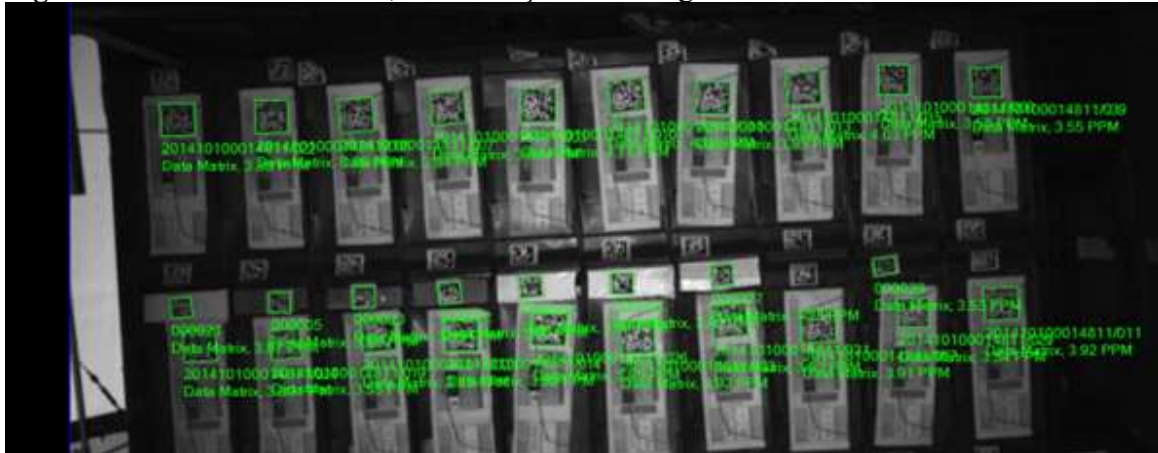


Imagem capturada durante a realização dos testes.

Como resultado dos testes, obtivemos 100% de leitura dos códigos em 50 passagens realizadas dentro dos padrões estabelecidos. Os resultados foram apresentados pela equipe do projeto e validados pela liderança da empresa e com isso foi autorizado o início dos testes em ambiente de produção.

4.2.3 - Apresentação da Solução.

A solução desenvolvida trata de um portal com câmeras, iluminação e sensores, portal este que captura as imagens das etiquetas de códigos de barras que identificam as embalagens com peças quando da passagem da empilhadeira na entrada no centro logístico e através da leitura dessas etiquetas as informações são atualizadas em um sistema que faz a validação quanto as regras de negócios pré-estabelecidas. Essa solução foi desenvolvida para o processo de checagem no recebimento de peças, em substituição do processo de checagem manual com pistola de leitura de códigos de barras.

Com as imagens capturadas, as informações dos códigos de barras são decodificadas e os dados enviados para o sistema que “quebra” a carga empilhada em conjuntos menores (paletes), faz a validação quanto as regras de negócio pré-definidas, ou seja, se aquelas peças recebidas correspondem as peças solicitadas aos fornecedores, além de fazer a verificação de falha de leitura nas etiquetas. Encontrando divergências, o sistema gera relatórios detalhados orientando a operação de correção e apontando a linha das caixas onde está o problema (representada em um

croqui). Algumas validações a título exemplificativo: cargas ou fornecedores misturados, altura máxima etc.

Toda a leitura e validação ocorrem quando o palete passa pelo portal de câmeras, entre o sensor início e o sensor fim, sem adicionar tempo na operação de movimentação de carga.

Em resumo trata-se de um portal com câmeras laterais, iluminação e sensores de início e sensores de final de passagem, portal este que captura as imagens das etiquetas de códigos de barras das caixas dos paletes quando da passagem da empilhadeira com a carga e lança num sistema que faz a validação quanto as regras de negócios pré-estabelecidas, conferindo e validando automática e dinamicamente por fotografias dos códigos de barras os pedidos recebidos com o status real das peças enviadas pelos fornecedores, quando da passagem da empilhadeira carregando tais paletes pelo portal.

Com a finalidade de facilitar a escrita e entendimento iremos abordar essa solução como Portal de Câmeras ao longo de todo o texto.

4.3 - INSTALAÇÃO DA SOLUÇÃO EM AMBIENTE OPERACIONAL

Com o atingimento dos resultados no ambiente de experimentação foi autorizada a instalação do Portal de Câmeras no ambiente operacional.

O portal, foi estrategicamente posicionado em um local por onde passam as empilhadeiras na área de recebimento de cargas, tem um formato de “U” invertido com câmeras nas laterais, assim como iluminação que garante nitidez adequada da imagem captada, além de sensores de início e final de ação das referidas câmeras, de forma que a empilhadeira ao passar com a carga na devida inclinação pelo portal tem os códigos *data matrix* das etiquetas dos paletes e caixas lidos simultaneamente, assim realizando o recebimento físico das peças e as respectivas validações.

Foi instalada, de forma provisória, uma área de trabalho para que a equipe de tecnologia acompanhasse a evolução dos testes in loco, e, quando necessário, agisse prontamente na correção e ajustes da lógica do sistema e nas configurações do hardware.

Além dos itens relacionados à tecnologia, foi necessário assegurar que as premissas estabelecidas para os padrões operacionais estivessem implantadas:

- Embalagens: foram realizados os ajustes nos suportes das etiquetas em relação ao tipo e local de fixação, e os paletes foram identificados com os novos códigos *data matrix*;

- Operação: os ajustes de layout e rotas de abastecimento foram executados e os operadores escolhidos para participar foram treinados para atender às novas necessidades da operação, tais como, regras de segurança, velocidade, posicionamento da empilhadeira em relação ao portal, identificação de divergência de leitura para destinação da carga à área de divergências e identificação de anomalias no funcionamento do portal que necessitassem parar a operação;
- Fornecedores: realizamos treinamento sobre a correta montagem da carga, deixando claro as regras de posicionamento das etiquetas e a necessidade de manter as etiquetas livres para serem lidas.

Foi também nomeada uma equipe responsável por analisar os resultados de leitura do Portal de Câmeras comparando com o resultado do sistema homologado que fazia uso de pistolas de leitura, para, a partir da comparação dos resultados, medirmos a performance do sistema. Desta comparação, quando identificada a divergência, a equipe checava imediatamente e in loco os detalhes do ocorrido, registrando as informações sobre as divergências em um ficheiro de excel, gerando assim uma base de dados, o alto conhecimento técnico da equipe possibilitou transformar os dados em informações estratégicas para a identificação dos problemas, direcionamento da solução e tomada de decisão.

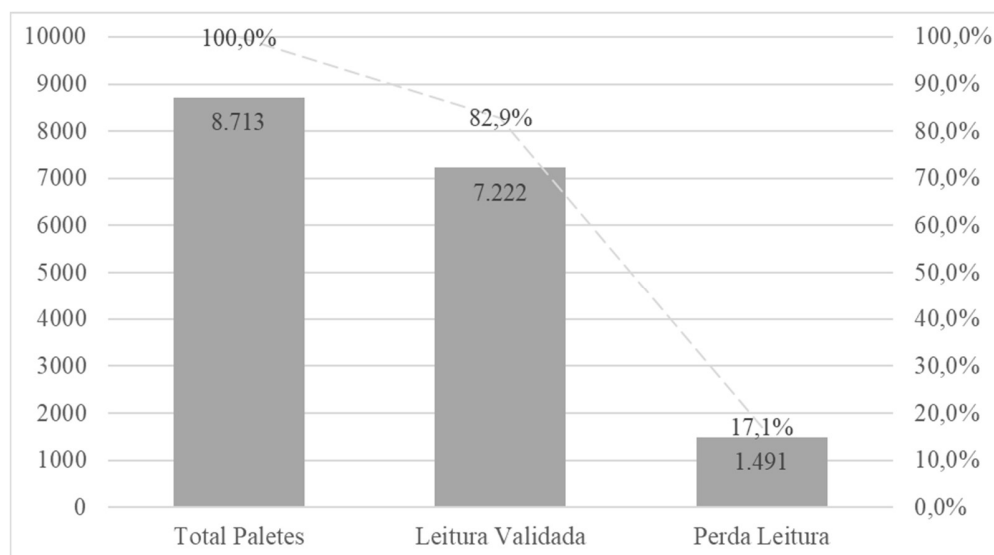
5 RESULTADOS

Em paralelo ao desenvolvimento do projeto de Indústria 4.0, os processos foram desenhados seguindo a filosofia Lean, após a validação da tecnologia e iniciada a fase de testes em ambiente operacional, verificamos que o ponto crítico e decisivo para o sucesso e viabilidade do projeto foi justamente a efetividade da padronização dos processos.

É relevante destacar que, a perda de leitura de uma única etiqueta de caixa ou do palete, faz com que todo o paleta (que é o conjunto de agrupamento das caixas) seja classificado como divergente e necessite de tratamento, desta forma e para melhor análise e compreensão dos dados iremos apresentar a medição dos resultados com base no quantitativo de paletes e não de etiquetas de caixas.

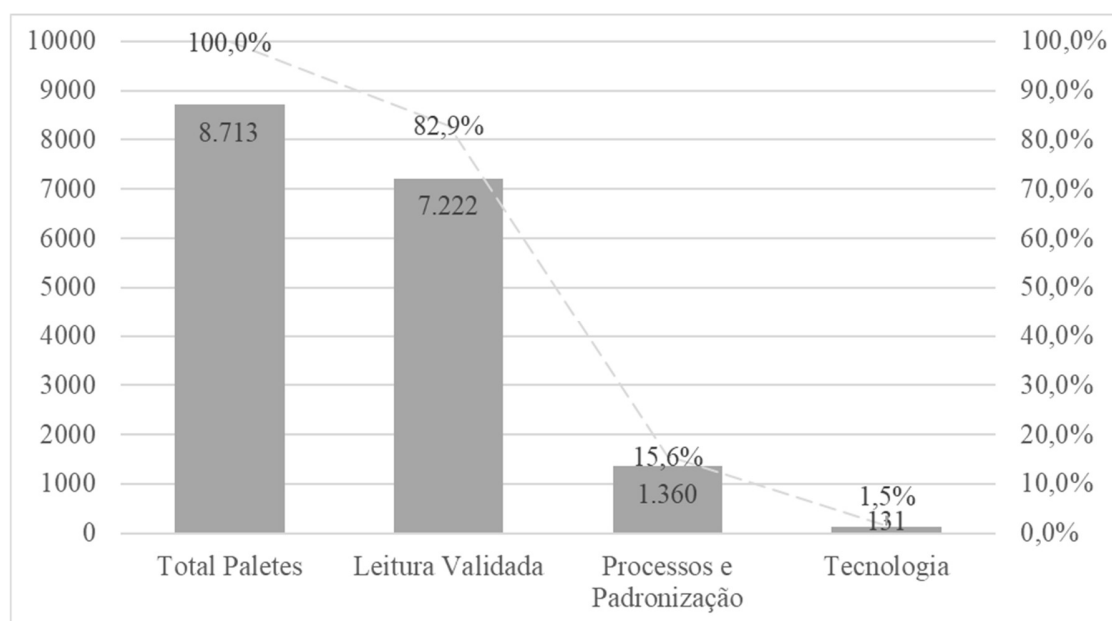
Na Figura 3 destacamos o resultado da primeira semana de testes, onde foi possível verificar que do total de 8.713 paletes que passaram pelo Portal, somente 82,9% tiveram sua leitura validada, muito aquém da meta dos 98% estabelecida como premissa do projeto e da performance de 100% atingida no ambiente de experimentação. Como a operação logística já vinha de longa data e por isso já era considerada estável, inicialmente foi inferido que as definições tecnológicas tinham sido desacertadas.

Figura 3 - Resultado da primeira semana dos testes de leitura do Portal de Câmeras em ambiente operacional.



Porém com a análise e estratificação dos dados, como podemos ver na Figura 4 foi evidenciado que 15,6% das perdas de leitura ocorreram em função de variáveis relacionadas à processos e padronização e somente 1,5% das perdas de leitura aconteceram em função da tecnologia, sendo assim o processo de acompanhamento, captura e análise de dados foi crucial para direcionamento das ações de contramedida, continuidade dos trabalhos e futura aprovação final do projeto.

Figura 4- Estratificação dos resultados da primeira semana dos testes de leitura do Portal de Câmeras em ambiente operacional.



Através desta constatação o período de testes foi ampliado e durante 75 dias realizamos a captura, análise e estratificação dos dados com o objetivo de direcionar a equipe na solução dos problemas e assegurar o sucesso de implantação do Portal de Câmeras. Na Tabela 2 podemos verificar o comparativo de quantidade de leituras validadas versus as perdas de leitura por processos e padronização e tecnologia e a evolução nos resultados dia após dia. Na tabela 2 também observamos que somente no quadragésimo dia atingimos a meta estabelecida como mínima para aprovação do projeto que foi de 98% de leitura validada da primeira passagem dos paletes pelo portal, mesmo depois da meta atingida os testes continuaram com o objetivo de buscarmos a estabilidade do processo antes de desabilitarmos o sistema de leitura com pistolas.

Tabela 2- Visão diária - Resultado testes de leitura Portal de Câmeras - Ambiente Operacional.

	Quantidade de Paletes	% Leitura Validada	% Perdas Leitura - Processos e Padronização	% Perdas Leitura - Tecnologia
1º dia	1094	80,4%	18,6%	0,9%
2º dia	1190	82,4%	16,6%	1,1%
3º dia	1397	80,2%	19,1%	0,6%
4º dia	1753	83,8%	14,0%	2,2%
5º dia	1635	85,3%	13,6%	1,1%
6º dia	1644	83,8%	13,6%	2,6%
7º dia	1512	89,7%	8,5%	1,8%
8º dia	1619	88,4%	8,7%	2,9%
9º dia	1602	87,6%	11,0%	1,4%
10º dia	708	88,6%	10,3%	1,1%
11º dia	820	89,6%	7,9%	2,4%
12º dia	740	49,7%	6,6%	43,6%
13º dia	674	88,3%	9,9%	1,8%
14º dia	835	85,1%	8,9%	6,0%
15º dia	782	90,4%	7,3%	2,3%
16º dia	666	89,6%	9,5%	0,9%
17º dia	592	93,6%	5,9%	0,5%
18º dia	758	92,6%	6,2%	1,2%
19º dia	770	92,5%	6,6%	0,9%
20º dia	1371	93,2%	6,3%	0,5%
21º dia	1717	93,9%	5,0%	1,2%
22º dia	1016	85,5%	4,3%	10,1%
23º dia	281	93,2%	6,8%	0,0%
24º dia	2097	94,4%	4,0%	1,6%
25º dia	1301	96,2%	3,2%	0,6%
26º dia	1454	96,1%	3,0%	0,9%
27º dia	1283	96,4%	3,2%	0,4%
28º dia	1274	96,9%	2,9%	0,2%
29º dia	1316	96,3%	3,3%	0,4%
30º dia	1253	96,8%	2,7%	0,5%

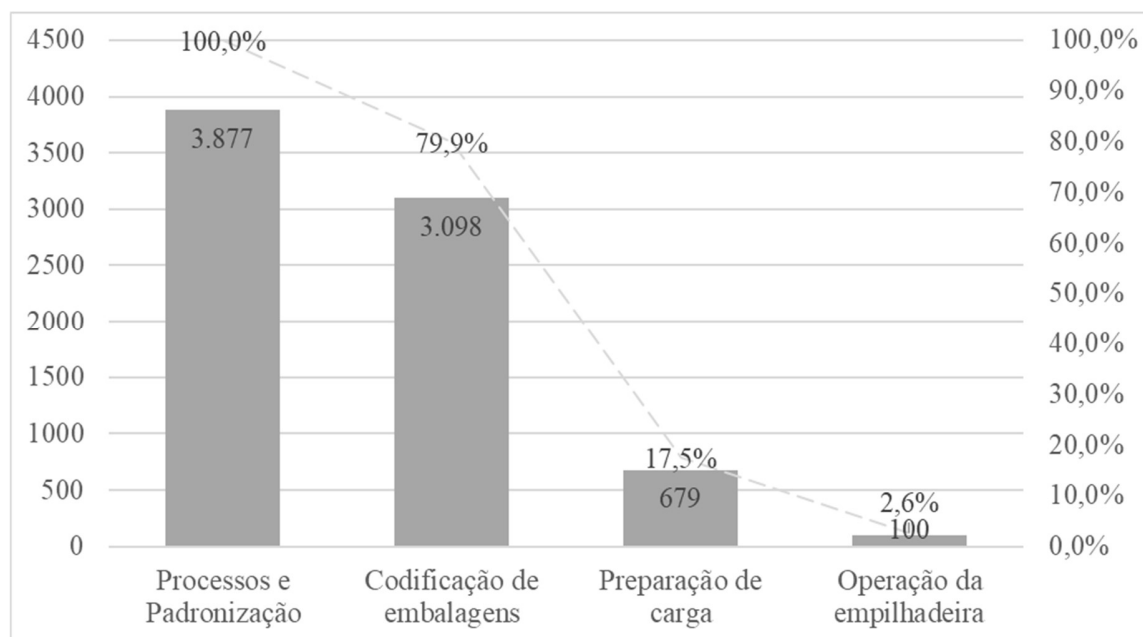
	Quantidade de Paletes	% Leitura Validada	% Perdas Leitura - Processos e Padronização	% Perdas Leitura - Tecnologia
31º dia	1341	96,9%	2,8%	0,3%
32º dia	1370	94,7%	3,1%	2,2%
33º dia	1483	96,5%	2,8%	0,7%
34º dia	1274	96,2%	3,5%	0,3%
35º dia	217	95,4%	4,6%	0,0%
36º dia	1111	96,7%	2,5%	0,8%
37º dia	1330	97,7%	2,0%	0,2%
38º dia	1315	97,0%	2,6%	0,5%
39º dia	1278	97,4%	2,1%	0,5%
40º dia	1355	98,1%	1,5%	0,4%
41º dia	1283	98,0%	1,9%	0,2%
42º dia	1403	98,3%	1,6%	0,1%
43º dia	1386	98,7%	0,9%	0,4%
44º dia	1286	98,6%	1,2%	0,2%
45º dia	1362	98,6%	0,9%	0,5%
46º dia	1351	98,7%	1,0%	0,4%
47º dia	1454	98,8%	1,2%	0,0%
48º dia	1377	97,9%	1,8%	0,3%
49º dia	1224	98,7%	1,0%	0,3%
50º dia	1344	98,2%	1,3%	0,5%
51º dia	1403	98,1%	1,5%	0,4%
52º dia	1406	98,6%	1,3%	0,1%
53º dia	1339	98,4%	1,4%	0,2%
54º dia	1374	95,3%	4,4%	0,4%
55º dia	1299	97,9%	1,9%	0,2%
56º dia	1400	98,8%	0,9%	0,3%
57º dia	1432	98,0%	1,3%	0,7%
58º dia	1286	98,6%	1,1%	0,3%
59º dia	1381	98,6%	1,2%	0,2%
60º dia	1372	98,6%	0,8%	0,6%
61º dia	1365	98,8%	1,0%	0,2%

	Quantidade de Paletes	% Leitura Validada	% Perdas Leitura - Processos e Padronização	% Perdas Leitura - Tecnologia
62º dia	1322	99,0%	0,8%	0,2%
63º dia	1286	98,4%	1,3%	0,2%
64º dia	1566	98,8%	1,2%	0,0%
65º dia	1393	99,1%	0,9%	0,1%
66º dia	1198	98,8%	1,0%	0,2%
67º dia	1353	98,7%	0,8%	0,5%
68º dia	1443	98,5%	1,2%	0,2%
69º dia	1369	98,2%	1,3%	0,5%
70º dia	1415	98,4%	1,4%	0,2%
71º dia	1377	97,9%	1,7%	0,4%
72º dia	1377	99,1%	0,7%	0,1%
73º dia	1386	98,2%	0,9%	0,9%
74º dia	1361	98,2%	1,4%	0,4%
75º dia	1387	99,0%	0,9%	0,1%

* Leituras validas e perdas de leitura por processos e padronização e tecnologia.

Aprofundando as análises, estratificamos mais uma vez os dados das perdas de leitura relacionadas à Processos e Padronização, direcionando as equipes na solução dos problemas. Na Figura 5 podemos ver que a problemática está atrelada ao contexto específico do projeto, porém de forma geral e visando contribuir com pesquisas e trabalhos futuros, o principal problema a ser tratado “Codificação das embalagens” está relacionado à alteração do padrão de identificação de embalagens, e os itens “Preparação de carga” e “Operação de empilhadeira” estão relacionados à uma alteração no procedimento operacional de execução das atividades, então fica evidenciado como ponto de atenção que qualquer adaptação/mudança deve ser amplamente gerenciada para garantir a qualidade de sua efetivação, os procedimentos devem ser revistos, os operadores devem receber o treinamento do novo padrão operacional, e os resultados precisam ser monitorados, até que os as metas estabelecidas sejam atendidas e o processo se estabilize.

Figura 5- Estratificação de Dados – Perdas de Leitura por Processos e Padronização.

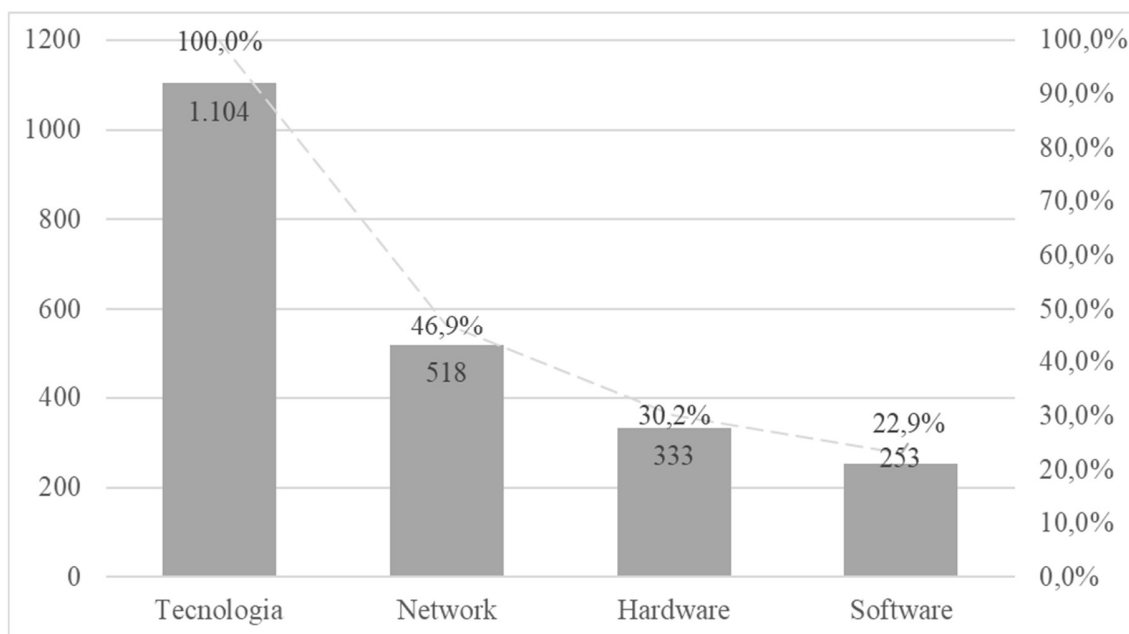


Fonte: A Autora (2021)

Seguindo a mesma sistemática de captura de dados in loco e no momento da ocorrência da divergência, estratificamos os dados das perdas de leitura relacionadas à Tecnologia e evidenciamos que 46% das ocorrências estavam relacionadas à perda de conexão com a rede, como vemos na Tabela 2 nos dias 12º, 14º e 22 º, a perda de conexão do portal com a rede de dados impede que as imagens sejam processadas e validadas pelo sistema, sendo assim foi aplicado o mesmo padrão de redundância e criticidade utilizados nos sistemas que suportam a operação da linha de produção, evidenciando a importância da rede de dados na implantação da Indústria 4.0 .

Em relação ao hardware os problemas encontrados foram resolvidos com ajustes de configuração das câmeras, como foco, posicionamento de instalação para assegurar o campo de visão e quantidade de imagens capturadas por palete, ressaltando que não houve necessidade de substituição e/ou troca de tecnologia. E quanto ao software foram realizados ajustes em partes específicas da lógica, por exemplo, a necessidade de identificar o final da passagem de uma empilhadeira e início de outra, esse cenário que não foi testado no ambiente de experimentação, e quando iniciamos a validação em ambiente operacional, devido a agilidade da operação e o curto espaço de tempo entre a passagem de uma empilhadeira e outra pelo Portal de Câmeras, se fez necessário criar essa lógica de validação.

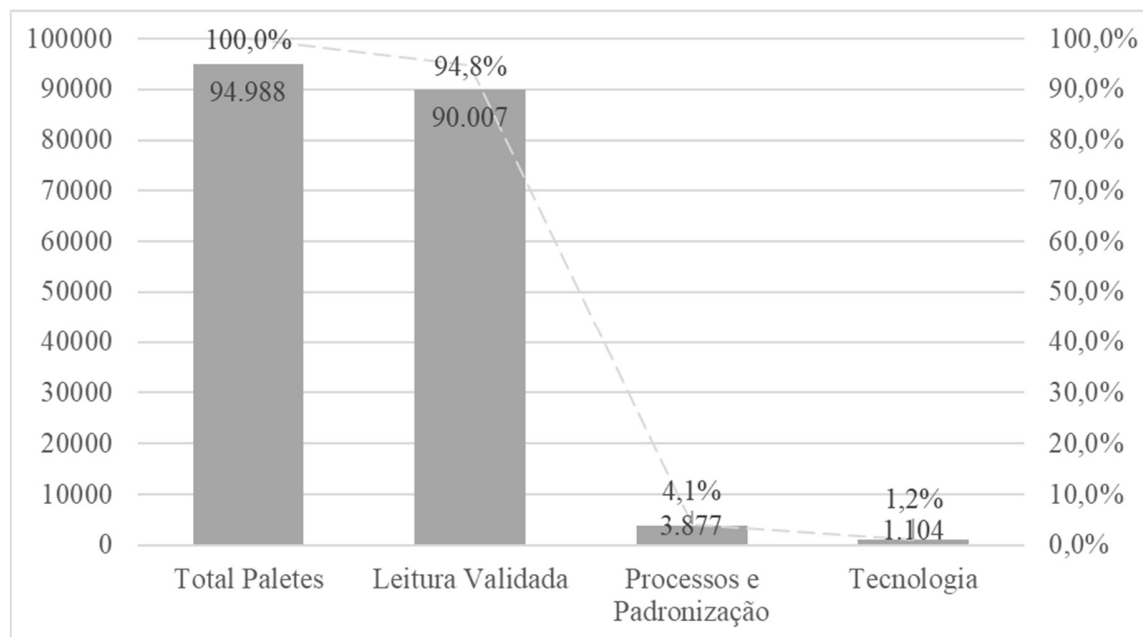
Figura 6- Estratificação de Dados – Perdas de Leitura por Tecnologia.



Fonte: A Autora (2021).

Durante 75 dias realizamos a comparação dos resultados de leitura do Portal de Câmeras com o Sistema de Leitura por Pistola. Na Figura 7 temos a visão consolidada dos dados e podemos ver que nesse período foram avaliados 94.988 paletes, desses 90.007 tiveram sua leitura validada representando sucesso de leitura na primeira passagem dos paletes pelo portal de 94,8%, 3.877 paletes apresentaram perda de leitura em função de problemas relacionados aos Processos e Padronização, representando 4,1% das perdas de leitura e 1.104 paletes apresentaram perdas de leitura em função de Tecnologia, representando 1,2% das perdas de leitura.

Figura 7- Consolidação do resultado dos testes de leitura do Portal de Câmeras no ambiente operacional.



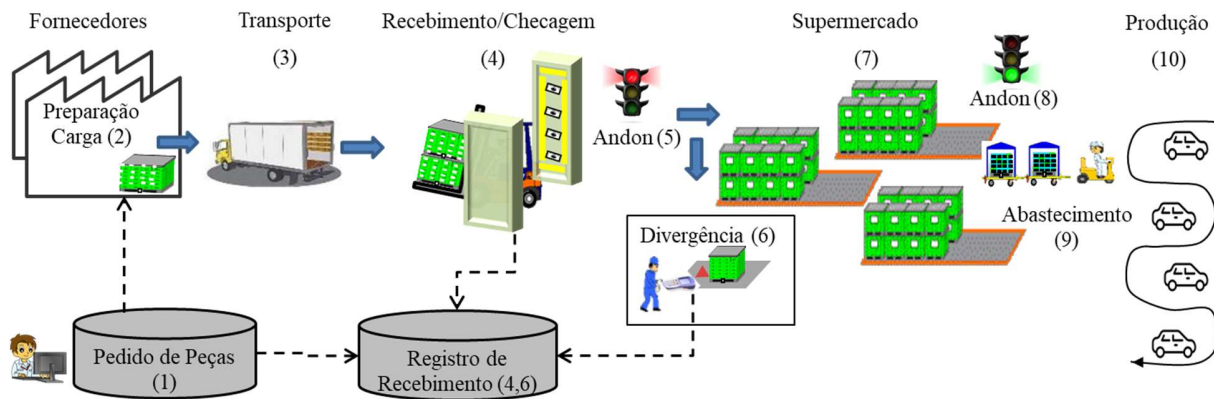
Para seguir com a aprovação final da solução os dados e análises foram crucias e como podemos verificar na Tabela 2, a meta de 98% de leitura foi atingida a partir do quadragésimo dia e com a estabilização do processo alcançamos o resultado de 98,5% de acuracidade de leitura dos códigos na primeira passagem da carga pelo portal na última semana dos testes.

Com isso finalizamos a fase de testes e desativamos o sistema de coletores passando a operar oficialmente somente com o Portal de Câmeras.

Para melhor entendimento na Figura 8 é possível verificar o desenho da operação após a implantação do portal de câmeras. (1) O pedido de peças com o Plano de Cada Peça - PPCP é enviado aos fornecedores, (2) os fornecedores preparam a carga seguindo as premissas acordadas, (3) a carga era transportada até a doca de recebimento do centro logístico, (4) a carga é retirada do caminhão e é movimentada através de empilhadeiras e no percurso a empilhadeira passa através do Portal de Câmeras que capta as imagens das etiquetas conferindo e validando os dados, (5) um andon (sinal luminoso) sinaliza se houve ou não divergência de leitura da carga, (6) a luz vermelha do andon indica que há divergência e o operador deve movimentá-la até o local destinado à correção, (7) a luz verde do andon indica que a carga foi aprovada e o operador deve movimentá-la diretamente para a área final de espera (supermercado), (8) quando o andon

localizado na área do supermercado indica luz verde, (8) as peças são movimentadas para abastecerem a (9) linha de produção.

Figura 8 - Processo de recebimento de peças com checagem dos códigos das etiquetas, através do Portal de Câmeras.



Com a implantação do Portal de Câmeras, criamos um fluxo mais contínuo para o processo de recebimento de peças, antes eram necessárias 2 empilhadeiras, uma para movimentar o material do caminhão até a área de checagem e outra da área de checagem até o supermercado (Desperdício de Transporte), eliminamos toda área de espera para checagem do material (Desperdício de Espera e Estoque) e disponibilizamos a mão de obra que operava os coletores para execução de outras atividades (Desperdício de Processamento).

Com isso atingimos os objetivos do projeto:

- Substituímos o processo de checagem manual com pistola de leitura de peças no recebimento de cargas, conferindo e validando automática e dinamicamente por fotografias dos códigos de barras os pedidos que recebidos com o status real das peças enviadas pelos fornecedores, quando da passagem da empilhadeira carregando tais paletes pelo portal.
- Eliminamos a área do centro logístico que era destinada a colocação provisória dos paletes para a realização da leitura com o scanner manual.
- Eliminamos a mão de obra utilizada para leitura manual com uso de pistolas.
- Aumentamos a confiabilidade da conferência das peças, pela redução da intervenção humana no processo e a robustez das lógicas de validação.
- Tornamos o tempo para a conferência das peças mais curto.
- Tornamos o processo de conferência das peças mais seguro para os operadores.

Possibilitando assim a reorganização do layout para atender o maior volume de produção e maior variabilidade de peças, sem a necessidade de ampliação/construção de uma nova área no armazém logístico e disponibilizando mão de obra para atividades adicionais, sem a necessidade de novas contratações atingindo as metas estabelecidas.

O projeto foi cuidadosamente documentado para posterior replicação em outros centros logísticos e as instruções de como operar e manter foram documentadas e passadas para a equipe responsável pela operação.

6 CONCLUSÃO

Para responder à pergunta, “Qual o impacto da aplicação dos conceitos Lean nos processos para a implantação de um projeto de Indústria 4.0?”, coletamos dados da implementação de um projeto de tecnologia, os dados utilizados neste estudo foram capturados após a definição do hardware e do software em ambiente controlado, onde as variáveis operacionais foram isoladas para que os itens relacionados à tecnologia fossem testados e aprovados, e somente após essa validação as variáveis relacionadas aos processos operacionais passaram a ser monitoradas. O Portal de Câmeras foi instalado em ambiente operacional e 100% dos dados de leitura foram capturados e analisados durante 75 dias, foram 94.988 paletes lidos, desses 90.007 tiveram sucesso de leitura e 4.981 apresentaram falha. Cada falha foi analisada e suas causas registradas em uma base de dados, tornando possível quantificar o impacto das variáveis operacionais nos resultados da implantação do projeto de tecnologia.

Os resultados da primeira semana de testes, com mais de 8.713 amostras de dados, mostram que, a partir do momento que as variáveis operacionais passaram a influenciar, a mesma configuração de hardware e software aprovados com 100% de acuracidade sofreram uma queda de performance de 17,1%. Através das análises de causa realizada no ambiente operacional os dados de falha de leitura foram categorizados como processos e tecnologia e como visto na figura 3, 15,6% das perdas de leitura ocorreram em função de falhas nos processos e somente 1,5% das falhas de leitura ocorreram em função da tecnologia.

Com o intuito de direcionar a equipe na solução dos problemas, os dados foram mais uma vez estratificados, e na figura 5 verificamos que as três principais causas de perdas de leitura por falha nos processos operacionais foram: “Codificação das embalagens”, “Preparação de carga” e “Operação de empilhadeira” todas estas causas relacionadas a erros na execução dos novos padrões operacionais estabelecidos, direcionando a tomada de ação na verificação dos padrões de codificação de embalagens, treinamento dos fornecedores para preparação de carga e treinamento dos operadores de empilhadeira reforçando as novas regras de operação.

E das perdas de leitura que ocorreram em função de tecnologia, na figura 6, vimos que a principal causa foi perda de conexão com a rede de dados, sendo assim a equipe de infraestrutura de tecnologia criou redundância na rede e verificamos que não houve nenhuma necessidade de substituição de Hardware e Software somente ajustes de configuração.

Com base nos resultados apresentados, concluímos que a aplicação dos conceitos Lean nos processos geram impacto na implantação de projetos de Indústria 4.0, nesse projeto o impacto das falhas operacionais medido gerou de 15,6% de falha na primeira semana da coleta de dados, e com a evolução do nível de maturidade do Lean nas operações as falhas foram reduzindo e o nível de acuracidade de leituras aumentando, passando dos 98,5% de acuracidade na última semana do acompanhamento, na tabela 2 é possível verificar a evolução diária dos resultados. Foi através da prática da gestão da rotina, solução de problemas e melhoria contínua que atingimos a padronização e estabilidade do processo logístico e obtivemos sucesso no projeto de Indústria 4.0.

Como vimos na revisão bibliográfica vários estudos correlacionam os temas Lean e a Indústria 4.0, falam de complementaridade e da maximização de valor quando da sua aplicação conjunta, porém não encontramos nenhum estudo que tenha medido o impacto da aplicação do Lean no resultado da implantação de um projeto de Indústria 4.0. Ao conseguirmos medir a relevância do Lean para o sucesso da implantação de um projeto de Indústria 4.0, temos fatos e dados para embasar cada vez mais a correlação dos conceitos, suportar a comunidade acadêmica em seus estudos e pesquisas e apoiar profissionais das diversas áreas no desenvolvimento de seus projetos.

Neste estudo também verificamos que a Indústria 4.0 colaborou com o aumento de maturidade do Lean no processo logístico, como visto na figura 8, possibilitando um fluxo contínuo do material, a eliminação de desperdícios de espera, processamento, estoque, transporte e otimizando recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdirad, M & Krishnan, K. (2020). Industry 4.0 in Logistics and Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. **Engineering Management Journal**. 1-15.
- Anderl, R. (2014, October). Industrie 4.0-advanced engineering of smart products and smart production. In **Proceedings of international seminar on high technology** (Vol. 19).
- Arbix, G., Salerno, M.S., Zancul, E., Amaral, G., & Lins, L.M. (2017). O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos estudos CEBRAP**, 36(3), 29-49.
- Ballou, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: Planejamento, organização e logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- Barreto, L.; Amaral, A.& Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. **Procedia Manufacturing**, 13, 1245-1252.
- Bauer, H., Brandl, F., Lock, C., & Reinhart, G. (2018). Integration of Industrie 4.0 in lean manufacturing learning factories. **Procedia manufacturing**, 23, 147-152.
- Barata, J., Rupino Da Cunha, P., & Stal, J. (2017). Mobile supply chain management in the industry 4.0 era: An annotated bibliography and guide for future research. **Journal of Enterprise Information Management**, 31(1), 173–192.
- Boakye-Adjei, K., Thamma, R., & Kirby, E. D. (2014). Autonomation: the future of manufacturing. In Proceedings of the 2014 IAJC-ISAM **International Conference**, Orlando, Florida (pp. 978-1).
- Bragança, S. & Costa, E. (2015). An application of the lean production tool standard work. **Journal Teknologi**, 76(1).
- Buer, S.V., Strandhagen, J.O., & Chan, F.T. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, 56(8), 2924-2940.
- Conrad, T., & Rooks, R. (2017). **Turbo Flow: Using Plan for Every Part (PFEP) to Turbo Charge Your Supply Chain**. CRC Press.
- Cho, F. (2011). **The Toyota Way**. Toyota Motor Corporation.
- CSCMP (2007) **Council of Supply Chain Management Professionals**. Disponível em: <http://www.cscmp.org/>. Acesso em 15 de dezembro de 2020.
- Christopher, M. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. **Estratégia para a Redução de Custos e Melhoria dos Serviços**. São Paulo: Pioneira, 1997.
- Dennis, P. (2009). **Produção Lean simplificada**. Bookman Editora.

- Dombrowski U., Richter T., Krenkel P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis. **Procedia Manufacturing**, 111061-1068.
- Drath, R.; Horch, A. Industrie 4.0: Hit or hype? **IEEE Industrial Electronics Magazine**. 8(2): 56–58, 2014.
- Ferro, J.R. (2006). **Logística Lean: passo seguinte na transformação**. Recuperado de: <http://www.Lean.org.br/Leanmail/mailOutubro06.htm>. Acesso em: 21 de dezembro de 2020.
- Feng, P.P., & Ballard, G. (2008). **Standard work from a lean theory perspective**. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 16:1-10.
- Fujimoto, T. (2000). The evolution of a manufacturing system at Toyota. "[Book Review]. **Japan Quarterly**, 47(2): 95-97. DOI: 25. 10.2307/259024.
- Ghinato, P. (2006). **Jidoka: mais do que pilar da Qualidade**. Lean Way Consulting.
- Harris, R. Harris, C. Wilson, E. Fazendo fluir os materiais - uma guia Lean de movimentação de materiais para profissionais de operações, controle de produção e engenharia. São Paulo, SP. **Lean Institute Brasil**. 2004.
- Ito, T., Abd Rahman, M. S., Mohamad, E., Abd Rahman, A. A., & Salleh, M. R. (2020). Internet of things and simulation approach for decision support system in lean manufacturing. **Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing**, 14(2), JAMDSM0027-JAMDSM0027.
- Jim Wu, Y.C. (2002). Effective Lean logistics strategy for the auto industry. **The International Journal of Logistics Management**, 13(2), 19-38.
- Jones, D. (1997). Lean Logistics. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. 27 (153-173).
- Karlsson, C., & Ahlström, P. (1996). Assessing changes towards lean production. **International Journal of Operations & Production Management**.
- Kayikci, Y. (2018). Sustainability impact of digitization in logistics. **Procedia Manufacturing**, 21, 782–789.
- Léxico Lean. (2007). **Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean**. São Paulo, SP. Lean Institute Brasil.
- Leyh C., Martin S., & Schäffer T. (2017). Industry 4.0 and Lean Production - A matching relationship? An analysis of selected Industry 4.0 models. **Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)**. 11, 989-993.
- Liker, J.K. (2004). **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**. New-York: McGraw Hill Education.

- Lodi, A.A.A., Souza, R.M.D., Ramos Junior, R., Ker, S.G., Gonçalves, S.A., & Rodrigues, T.A. (2019). **Metodologia LEAN aplicada na gestão de empresas de transporte e logística**. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio) - Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, Belo Horizonte.
- Lustosa, L., Mesquita, M. A., & Oliveira, R. J. (2008). **Planejamento e controle da produção**. Elsevier Brasil.
- Monden, Y. (2015). **Sistema Toyota de Produção: uma abordagem integrada ao Just in Time**. Bookman Editora.
- Müller, J.M., & Voigt, K.I. (2018). **The impact of industry 4.0 on supply chains in engineer-to-order industries-an exploratory case study**. IFAC-PapersOnLine, 51(11), 122-127.
- Ohno, T. (1988). **Toyota Production System: Beyond Large-scale Production**. Cambridge: Productivity Press.
- Ohno, T. (1997) **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Bookman, Porto Alegre, 1997.
- Pedraão, L.C. (2014). **Gerenciamento de Projetos Lean; utilização otimizada de recursos garante sucesso na gestão de projetos**. Lean Institute Brasil.
- Pinto, J.L.Q., Matias, J.C.O., Pimentel, C., Azevedo, S. G., & Govindan, K. (2018). Introduction to Lean and just-in-time manufacturing. In: **Just in time factory** (pp. 1-4). Springer, Cham.
- Pinto, G. A., & Antunes, R. (2018). **A fábrica da educação: da especialização taylorista à flexibilização toyotista** (Vol. 58). Cortez Editora.
- Powell, D., Alfnes, E., Strandhagen, J., & Dreyer, H. (2013). The Concurrent Application of Lean Production and ERP: Towards An ERP-Based Lean Implementation Process. **Computers in Industry**. 64(3): 324-335.
- Prinz, C., Kreggenfeld, N., & Kuhlenkötter, B. (2018). Lean Meets Industria 4.0 - A Practical Approach to Interlink the Method World and Cyber-Physical World, **Procedia Manufacturing**, 23, 21-26.
- Rennung, F., Luminosu, C.T., & Draghici, A. (2016). Service Provision in the Framework of Industry 4.0. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 221, 372-377.
- Romero, D., Gaiardelli, P., Powell, D., Wuest, T., & Thürer, M. (2019). Rethinking Jidoka systems under automation & learning perspectives in the digital lean manufacturing world. **IFAC- PapersOnLine**, 52(13), 899-903.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J.P. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)**, 9(3), 811-833.

- Shingo, S. (1981). Study of Toyota production system from industrial engineering viewpoint. **Tokyo, Japan Management Association.**
- Shingo, S. (1986). **Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system.** Cambridge, Massachusetts, Productivity Press.
- Shingo, S. (1996). **O sistema Toyota de produção.** Bookman Editora.
- Shook, J., & Rother, M. (1999). **Aprendendo a enxergar.** Lean Institute Brasil, São Paulo-SP.
- Silva, A.M., & Baranauskas, M.C.C. (2000). The Andon system: designing a CSCW environment in a lean organization. In: **Proceedings Sixth International Workshop on Groupware.** CRIWG 2000 (pp. 130-133). IEEE.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2009). **Administração da produção** (Vol. 2). São Paulo: Atlas.
- Suzaki, K. (2010). **Gestão de operações Lean: Metodologias kaizen para a melhoria contínua.** LeanOp Mansores.
- Sohal, A.S., Ramsay, L., & Samson, D. (1993). JIT manufacturing: industry analysis and a methodology for implementation. **International Journal of Operations & Production Management.**
- Swank, C.K. (2003). The Lean service machine. **Harvard business review**, 81(10), 123-130.
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does industry 4.0 mean to supply chain?. **Procedia manufacturing**, 13, 1175-1182.
- Voss, C.A., & Robinson, S.J. (1987). Application of just-in-time manufacturing techniques in the United Kingdom. **International Journal of Operations & Production Management.**
- Witkowski, K. (2017). Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 - innovative solutions in logistics and supply chains management. **Procedia Engineering**, 182, 763–769.
- Womack, J.P., Jones, D.T., & Roos, D. (1990). **A Máquina que mudou o Mundo.** Ed. Campus, Rio de Janeiro.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking - banish waste and create wealth in your corporation. **Journal of the Operational Research Society**, 48(11), 1148-1148.
- Womack, J. E., Jones, D., & Daniel, T. (2005). Lean Consumption. **Harvard Business Review.** Recuperado a partir de <http://hbr.org>.
- Yang, F., & Gu, S. (2021). Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies. **Complex & Intelligent Systems**, 1-15.
- Yin, Y., Stecke, K.E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, 56(1–2), 848–861.