

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS

STEPHANIE WOLOVICZ DOH

INDÚSTRIA 4.0 E PRODUÇÃO ENXUTA: ANÁLISE DE SEUS
RELACIONAMENTOS MEDIADA PELA ESTRATÉGIA DE OPERAÇÕES

CURITIBA

2017

STEPHANIE WOLOVICZ DOH

**INDÚSTRIA 4.0 E PRODUÇÃO ENXUTA: ANÁLISE DE SEUS
RELACIONAMENTOS MEDIADA PELA ESTRATÉGIA DE OPERAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia de Produção e
Sistemas da Pontifícia Universidade Católica
do Paraná, como requisito para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps

CURITIBA

2017

Curitiba, 25 de agosto de 2017

Pontifícia

Dados da Catalogação na Publicação

D655i
2017

Doh, Stephanie Wolovicz

Indústria 4.0 e produção enxuta : análise de seus relacionamentos mediada pela estratégia de operações / Stephanie Wolovicz Doh ; orientador: Fernando Deschamps. – 2017.

116 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2017

Inclui bibliografias

1. Produção enxuta. 2. Administração da produção. 3. Planejamento estratégico. I. Deschamps, Fernando. II. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. III. Título.

CDD 22. ed. – 658.5

Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central



Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Escola Politécnica
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas

TERMO DE APROVAÇÃO

Stephanie Wolovicz Doh

INDÚSTRIA 4.0 E PRODUÇÃO ENXUTA: ANÁLISE DE SEUS RELACIONAMENTOS MEDIADA PELA ESTRATÉGIA DE OPERAÇÕES.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Presidente da Banca
Prof. Dr. Fernando Deschamps
(Orientador)

Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos
(Membro Interno PPGEPS/PUCPR)

Prof. Dr. Marcelo Gechele Cleto
(Membro Externo PPGEPS/UFPR)

Curitiba, 25 de agosto de 2017.

"Na vida, não vale tanto o
que temos, nem tanto importa
o que somos. Vale o que realizamos com
aquilo que possuímos e, acima de tudo,
importa o que fazemos de nós!"

(Francisco Cândido Xavier)

AGRADECIMENTOS

Gratidão primeiramente a Deus pelas oportunidades e dom da vida.

À minha mãe, mulher guerreira e batalhadora que não mediu esforços pela educação de suas filhas e foi o principal impulso para que eu alcançasse o êxito em cursar o nível superior, sempre me apoiando, aconselhando e principalmente mostrando o caminho da verdade, ética, humildade e justiça rumo ao sucesso. Obrigado por nunca desistir de mim e me encorajar perante as pedras no caminho, me impulsionando a continuar nesta batalha da vida pela realização de meus sonhos. Você pode não estar presente fisicamente, mas a sinto em meu coração a cada instante e basta pensar por tudo que passamos juntas para nunca desanimar frente aos obstáculos.

Ao meu professor orientador, Fernando, pela confiança depositada, auxílio, paciência, compreensão e orientação ao longo do período letivo.

Aos colegas exemplares Josianne, Marcelo e Vanessa por confiar no projeto, auxiliar em tomadas de decisão e pelo vasto apoio, disponibilidade e orientação dedicados.

Ao meu gestor Luis por me apoiar nos últimos momentos a fim de me dedicar a finalização do documento.

Ao meu companheiro Alisson pelo suporte emocional nos momentos difíceis e por estar ao meu lado nas noites longas de pesquisa.

À minha irmã Raissa pelo carinho e cuidado em todos os momentos em que me ajudou a focar no desenvolvimento da obra.

Aos colegas Nairana, Ana, Gabriel, Rafael, Fernando e Letícia que me forneceram informações cruciais para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço também pelos colegas de academia pela colaboração no compartilhamento de suas obras as quais esse trabalho foi possível realizar.

Meus sinceros agradecimentos à equipe de Fabricação e Engenharia da empresa onde foi realizada os estudos de casos e coleta de informações.

RESUMO

A competitividade cada vez mais acirrada e o aumento dos padrões de exigência dos consumidores resultam com que as empresas ofereçam cada vez com mais qualidade, rapidez, flexibilidade e com bom custo-benefício. Isso requer que haja adoção à novas tecnologias, automatização, treinamentos e outros investimentos em sistemas e gestão, a fim de reduzir custos e desperdícios e estar preparado às flutuações da demanda, de maneira a produzir eficientemente sempre em busca da melhoria contínua. O advento da Indústria 4.0 (I4.0), traz a necessidade de responder rapidamente as mudanças e fazer isso de maneira eficaz e enxuta, coerente à estratégia da organização. Devido as recentes necessidades em alinhamento entre lean, I4.0 e estratégia de operações, o presente trabalho tem o intuito de desenvolver um framework que permita identificar os relacionamentos existentes entre os temas e a forma em que um influencia o outro. Para realizar esse projeto foi necessário um estudo da literatura sobre as tecnologias da Indústria 4.0, indicadores de produção enxuta e áreas de decisão em estratégia de operações, a fim de integrar os elementos em um protocolo de análise para um conjunto de estudo de casos exploratórios. Por meio da aplicação do protocolo aos casos exploratórios e da análise dos resultados obtidos é proposto um framework que objetiva auxiliar as empresas na seleção de tecnologias Indústria 4.0 alinhadas a filosofia lean de acordo com a sua estratégia de operações.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Estratégia de Operações. Lean.

ABSTRACT

Increasing competition and the increasing consumer demand for standards mean that companies are increasingly offering quality, speed, flexibility and cost-effectiveness. This requires adoption of new technologies, automation, training and other investments in systems and management, in order to reduce costs and waste and be prepared for fluctuations in demand, in order to produce efficiently always in search of continuous improvement. The advent of Industry 4.0 (I4.0) brings the need to respond rapidly to changes and to do so in an efficient and lean manner, consistent with the organization's strategy. Due to the recent needs in alignment between lean, I4.0 and operations strategy, the present work intends to develop a framework that allows to identify the existing relationships between the themes and the way that influences between each other. To carry out this project, it was necessary to study the literature on Industry 4.0 technologies, lean production indicators and decision areas in operations strategy, in order to integrate the elements into an analysis protocol for a set of exploratory case studies. Through the application of the protocol to the exploratory cases and the analysis of the results obtained, a framework is proposed that aims to help companies in the selection of Technology 4.0 aligned with lean philosophy according to their operations strategy.

Keywords: Industry 4.0. Operations Strategy. Lean.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	16
FIGURA 2: QUATRO PERSPECTIVAS DA ESTRATÉGIA DE OPERAÇÕES	19
FIGURA 3: CONCILIAÇÃO DOS REQUISITOS DE MERCADO COM OS RECURSOS DE OPERAÇÕES	20
FIGURA 4: MATRIZ ESTRATÉGICA DE OPERAÇÕES	20
FIGURA 5: 7 DESPERDÍCIOS DA PRODUÇÃO	25
FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS	32
FIGURA 7: DEFINIÇÃO INDÚSTRIA 4.0	33
FIGURA 8: A FÁBRICA DO FUTURO	36
FIGURA 9: NOVE TECNOLOGIAS QUE TRANSFORMAM A PRODUÇÃO INDUSTRIAL	38
FIGURA 10: INTERFACE QUE REGE A 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	39
FIGURA 11: TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E SEUS BENEFÍCIOS	40
FIGURA 12: FRAMEWORK INTEGRADOR PROPOSTO	47
FIGURA 13: QUESTÕES DO PROTOCOLO	50
FIGURA 14: RELAÇÃO ENTRE QUESTÕES DO FRAMEWORK E PROTOCOLO DE ANÁLISE	51
FIGURA 15: SOLUÇÃO DA POC DE MANUTENÇÃO PREDITIVA	67
FIGURA 16: FRAMEWORK DE PROPOSTA DE MELHORIAS	73
FIGURA 17: BENEFÍCIOS DA SIMULAÇÃO ATRAVÉS DA DIGITALIZAÇÃO	74
FIGURA 18: FRAMEWORK FINAL	80
MATRIZ 1: PA-R1 GENÉRICO	52
MATRIZ 2: PA-R2 GENÉRICO	52
MATRIZ 3: PA-R3 GENÉRICA	53
MATRIZ 4: PA-R4 GENÉRICA	54
MATRIZ 5: PA-R5 GENÉRICO	54
MATRIZ 6: PA-R1 E PA-R5 ESTUDO DE CASO NÚMERO 1	60
MATRIZ 7: PA-R2 ESTUDO DE CASO NÚMERO 1	61
MATRIZ 8: PA-R3 ESTUDO DE CASO NÚMERO 1	62
MATRIZ 9: PA-R1 E PA-R5 ESTUDO DE CASO NÚMERO 2	68
MATRIZ 10: : PA-R2 E PA-R4 ESTUDO DE CASO NÚMERO 2	69
MATRIZ 11: PA-R3 ESTUDO DE CASO NÚMERO 2	70
MATRIZ 12: PA-R1 E PA-R5 ESTUDO DE CASO NÚMERO 3	75
MATRIZ 13: PA-R2 E PA-R4 ESTUDO DE CASO NÚMERO 3	76
MATRIZ 14: PA-R3 ESTUDO DE CASO NÚMERO 3	77
QUADRO 1: PESQUISA EX FACTO VS. PESQUISA EXPOST FACTO	15
QUADRO 2: EXPLICAÇÃO DAS RELAÇÕES	48

LISTA DE TABELAS

FIGURA 1: ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	16
FIGURA 2: QUATRO PERSPECTIVAS DA ESTRATÉGIA DE OPERAÇÕES	19
FIGURA 3: CONCILIAÇÃO DOS REQUISITOS DE MERCADO COM OS RECURSOS DE OPERAÇÕES	20
FIGURA 4: MATRIZ ESTRATÉGICA DE OPERAÇÕES	20
FIGURA 5: 7 DESPERDÍCIOS DA PRODUÇÃO.....	25
FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS	32
FIGURA 7: DEFINIÇÃO INDÚSTRIA 4.0.....	33
FIGURA 8: A FÁBRICA DO FUTURO	36
FIGURA 9: NOVE TECNOLOGIAS QUE TRANSFORMAM A PRODUÇÃO INDUSTRIAL.	38
FIGURA 10: INTERFACE QUE REGE A 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.	39
FIGURA 11: TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E SEUS BENEFÍCIOS	40
FIGURA 12: FRAMEWORK INTEGRADOR PROPOSTO	47
FIGURA 13: OPINIÕES ESPECIALISTAS PARA VALIDAÇÃO DO FRAMEWORK INICIAL PROPOSTO...	49
FIGURA 14: QUESTÕES DO PROTOCOLO	50
FIGURA 15: RELAÇÃO ENTRE QUESTÕES DO FRAMEWORK E PROTOCOLO DE ANÁLISE	51
FIGURA 16: SOLUÇÃO DA POC DE MANUTENÇÃO PREDITIVA	67
FIGURA 17: FRAMEWORK DE PROPOSTA DE MELHORIAS	73
FIGURA 18: BENEFÍCIOS DA SIMULAÇÃO ATRAVÉS DA DIGITALIZAÇÃO	74
FIGURA 19: FRAMEWORK FINAL	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	3 dimensões
5S	5 Sensores
CIM	Manufatura de Computação Integrada (Computer Integrated Manufacturing, do inglês)
CPPS	Sistema de Produção Cibernético Físico
CPS	Sistema Cibernético Físico (Cyber-Physical System, do inglês)
I4.0	Indústria 4.0
ID	Indicador de Desempenho
IoS	Internet dos Serviços (Internet of Services, do inglês)
IoT	Internet das Coisas (Internet of Things, do inglês)
JIT	Just in Time
KPI	Indicador Chave de Desempenho (Key Performance Indicator)
MA	Manufatura Aditiva
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MRO	Manutenção, Reparo e Operação
NC	Numericamente Controladas
NVA	Não Valor Agregado
PA-R1	Protocolo de Análise da relação 01
PA-R2	Protocolo de Análise da relação 02
PA-R3	Protocolo de Análise da relação 03
PA-R4	Protocolo de Análise da relação 04
PA-R5	Protocolo de Análise da relação 05
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PDCA	Plan-Do-Check-Act (Planejar-Fazer-Verificar-Padronizar)
POC	Prova de Concepção
QCDP	Qualidade-Custo-Entrega (Delivery)-Pessoas
RI	Revolução Industrial
SMD	Sistema de Medição de Desempenho
STP	Sistema Toyota de Produção
TOC	Teoria das Restrições
TP	Trabalho Padronizado
VSM	Mapeamento de Fluxo de Valor
WIP	Estoque em processo (Work in Process, do inglês)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Problema	13
1.2. Objetivos	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3. Justificativa	14
1.4. Método	14
1.5 Importância	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1. Estratégia de Operações	18
2.1.1. Definição da Estratégia de Operações	18
2.1.2. Construção da Estratégia	18
2.1.3. Sistema de Medição de Desempenho	21
2.2. Lean Manufacturing	22
2.2.1. Introdução a Manufatura Enxuta	22
2.2.2. Desperdícios da produção	24
2.2.3. Ferramentas da manufatura enxuta	27
2.2.4. Indicadores <i>lean</i>	29
2.3. Indústria 4.0	31
2.3.1. Nascimento da Indústria 4.0	31
2.3.2. Conceituando a Indústria 4.0	33
2.3.3. Benefícios da 4ª revolução industrial	35
2.3.4. Tecnologias da Indústria 4.0	38
2.3.5. Alinhamento entre estratégia de operações, <i>lean</i> manufatcuring e indústria 4.0	40
3. DESENVOLVIMENTO	45
3.1. Relacionando teoria com realidade da empresa atual	45
3.1.1. Exemplificação de indicadores utilizados na indústria automotiva	45
3.1.2. Alinhamento entre indicadores lean: Literatura Vs Real	46
3.2. Proposta de Framework	47
3.3. Protocolo de Análise	50
3.3.1. Protocolo de Análise - Relação 01	51
3.3.2. Protocolo de Análise - Relação 02	52
3.3.3. Protocolo de Análise - Relação 03	53
3.3.4. Protocolo de Análise - Relação 04	53
3.3.5. Protocolo de Análise - Relação 05	54
4. ESTUDO DE CASOS EXPLORATÓRIOS	56
4.1. Introdução aos casos escolhidos e método de análise	56
4.2. Almoxarifado Digital	57
4.2.1. Contexto do estudo de caso número 1	57
4.2.2. Resumo da obra	58
4.2.3. Protocolo de Análise da Relação 01 – Estudo de caso 1	59
4.2.4. Protocolo de Análise Relação 02 – Estudo de caso 1	60
4.2.5. Protocolo de Análise da Relação 03 – Estudo de caso 1	61
4.2.6. Prova Real – Estudo de caso 1	63

4.3.	IOT de apoio à Manutenção	65
4.3.1.	Contexto do estudo de caso número 2	65
4.3.2.	Resumo da obra	66
4.3.3.	Protocolo de Análise da Relação 01 – Estudo de caso 2	67
4.3.4.	Protocolo de Análise Relação 02 – Estudo de caso 2.....	68
4.3.5.	Protocolo de Análise da Relação 03 – Estudo de caso 2	69
4.3.6.	Prova Real – Estudo de caso 2.....	70
4.4.	Manufatura Digital	72
4.4.1.	Contexto do estudo de caso número 3	72
4.4.2.	Resumo da obra	73
4.4.3.	Protocolo de Análise da Relação 01 – Estudo de caso 2	74
4.4.4.	Protocolo de Análise Relação 02 – Estudo de caso 3.....	75
4.4.5.	Protocolo de Análise da Relação 03 – Estudo de caso 3	76
4.4.6.	Prova Real – Estudo de caso 3.....	77
4.5.	Resumo dos resultados	79
4.6.	Framework Final	79
4.6.1.	Desenvolvimento do framework final	79
4.6.2.	Análise da aplicação framework final	81
5.	CONCLUSÃO.....	82
	REFERENCIAS	83
	APÊNDICE A: ARTIGO 1	87
	APENDICE B: ARTIGO 2	94
	APENDICE C: ARTIGO 3	105

1. INTRODUÇÃO

Transformações de ordem tecnológica movidas a crescente competitividade e necessidade de reduzir custos de fabricação vem ocorrendo nas últimas décadas a fim de produzir com alta performance e atender com qualidade.

As organizações industriais, após a era da produção artesanal, vêm buscando alternativas de produção ao longo dos anos a fim de se manterem competitivas, desenvolvendo métodos e técnicas que se adaptem ao mercado que atendem. De acordo com Lustosa et al. (2008, p.1), a produção de bens de consumo atual teve início com a Revolução Industrial, quando foi possível utilizar princípios e ferramentas de produção em massa. Taylor, no século XX elaborou os princípios da administração científica com base em medição, análise e aprimoramento dos métodos de trabalho. No mesmo século, Henry Ford aplicou a produção em massa em linhas de montagem móveis e com peças intercambiáveis. Após, no início da década de 1980, o sistema Toyota de produção contribuiu para a redução drástica de estoques na cadeia produtiva.

Atualmente, vivem-se momentos cruciais na economia, com mudanças paradigmas e de atitudes culturais, assim como o aumento populacional, maior exigência do aprimoramento pessoal, concorrência comercial, entre outros. Isso exige o desenvolvimento de metodologias que garantam diminuição de erros e consequentemente, perda de materiais e retrabalhos, com uso de ferramentas que facilitem o alcance mais rápido possível dos objetivos traçados. (AIEEX, 2003).

Alavancados por essa corrida industrial, dois fatores vêm sendo discutidos como significantes nos últimos anos. O primeiro é a aplicação difundida da automatização e implantação de sistemas de informação interligados de maneira sincronizada com os processos produtivos, recentemente chamada de Indústria 4.0 (I4.0) ou o paradigma de fábrica inteligente, a qual alguns autores relacionam ser emergente à quarta revolução industrial, vem com o intuito de interligar toda a rede de uma organização, ponta a ponta, agregando valor a toda a cadeia. O segundo é o foco em eficiência e redução de desperdícios enfatizados pela filosofia enxuta.

As tomadas de decisão tendem a utilizar tecnologias existentes com o uso de dados provenientes da utilização adequada de métodos e ferramentas de análise. Indicadores confiáveis e bem gerenciados e a sincronização com agentes da cadeia industrial, proporcionam aumentar a posição competitiva e responder mais depressa às demandas do mercado.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um framework integrando perspectivas lean e estratégia operações para auxiliar nos processos decisórios relativos as tecnologias da Indústria 4.0. O estudo está baseado em revisão da literatura e estudos de casos para

exemplificar aplicações reais de tecnologias da Indústria 4.0, dentro de um contexto lean e áreas de decisão. Por meio de análise via protocolo, os casos serão avaliados a fim de validar o framework genérico, tendo como resultado um framework final robusto.

1.1. Problema

Com os avanços das revoluções industriais, foi possível otimizar de forma gradual os processos produtivos de modo a alcançar ganhos significativos nos objetivos de desempenho almejados de forma singular por cada organização. A frequência e a necessidade de inovação em tornar-se cada vez mais competitivo nos traz para a 4ª Revolução Industrial, a chamada Indústria 4.0. Novos meios tecnológicos demandam por sua vez requisitos e suportes mais robustos e desenhados especificamente para eles, e apesar de ter mais acesso a literatura que relacionem a Indústria 4.0 ao sistema lean de produção, por ser um tema recente, não há muita informação que faça o link entre a quarta revolução industrial e o sistema estratégico de operações, sendo uma demanda das perspectivas do cenário competitivo ao longo dos próximos anos.

As tecnologias Indústria 4.0 trazem inúmeros benefícios mas para seu sucesso se faz necessário saber os objetivos de sua implantação e quais indicadores serão transformados para que os resultados impactam positivamente no desempenho das operações.

Portanto o presente trabalho procura responder a seguinte questão: Como decidir qual tecnologia da Indústria 4.0 selecionar em um sistema de produção lean alinhado com a estratégias de operações da empresa?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Elaborar um framework para auxiliar as empresas na seleção de tecnologias da Indústria 4.0 alinhadas a filosofia lean de acordo com a sua estratégia de operações.

1.2.2 Objetivos específicos

Apresentadas as etapas de introdução e problematização tem-se desenhado o objetivo geral deste documento. Os objetivos específicos, que fazem parte do desenvolvimento, são:

- a) Desenvolver um framework que integre lean e Indústria 4.0 em uma perspectiva da gestão estratégica de operações;

- b) Elaborar um protocolo de análise que use esse framework para aplicar em estudos de caso
- c) Analisar os resultados de aplicação do framework aos estudos de caso;
- d) Concluir se os resultados satisfazem o framework;
- e) Enriquecer o framework com a metodologia de análise.

1.3. Justificativa

A competitividade cada vez mais acirrada e o aumento dos padrões de exigência dos consumidores resultam com que as empresas ofereçam cada vez com mais qualidade, rapidez, flexibilidade e com bom custo-benefício. Isso requer que haja adoção à novas tecnologias, automatização, treinamentos e outros investimentos em sistemas e gestão, a fim de reduzir custos e desperdícios e estar preparado às flutuações da demanda, de maneira a produzir eficientemente sempre em busca da melhoria contínua.

A aplicação de ferramentas e métodos de análise quando bem efetuadas e com dados confiáveis, permitem não só identificar e solucionar problemas conhecidos, como também revelar distúrbios que estavam sendo ignorados por alguma falha no processo de transversalização de dados e/ou gestão ineficaz.

O advento da emergente indústria 4.0, traz a necessidade de responder rapidamente as mudanças e fazer isso de maneira eficaz, com o objetivo de se evitar turbulências e retrabalhos. A competitividade traz cada vez mais a necessidade de reduzir custos e aplicação robusta do sistema lean, ou seja, fazer mais com menos e a I4.0 pode ser um impulsionador, porém a estratégia da organização deve ser coerente as demandas de tecnologias.

1.4. Método

A natureza da pesquisa é um fator que delimita qual a metodologia a ser utilizada no trabalho e a classificação da pesquisa depende de alguns critérios. Segundo Campos (1996), enquanto os critérios de utilidade ou motivação classificam a pesquisa em pura, fundamental, básica, aplicada e tecnológica. Os critérios formais e estruturais classificam-na em ex-facto, e expost-facto; em experimental e de observação controlada.

Em relação aos critérios de motivação, neste trabalho a pesquisa pode ser considerada como aplicada, a qual busca auxiliar nas tomadas de decisão de gestores da indústria. Em termos de critérios formais, será utilizado tanto pesquisa ex facto devido a alguns dados serem obtidos no presente, quanto expost facto, através das análises em fatos já aplicados, cujas definições constam no Quadro 1.

Quadro 1: Pesquisa ex facto vs. Pesquisa expost facto

<i>Pesquisa ex facto</i>	<i>Pesquisa expost facto</i>
Realiza sua atividade sobre fenômenos presentes, isto é, aquela que acompanha o desenrolar de comportamentos atuais.	Tem como objetivo fatos que já aconteceram, mas que, tendo sido objeto de relato representando documentação, podem ser estudados a posteriori.

Fonte: Adaptado de CAMPOS, 1996, p. 63 e p. 64.

A metodologia terá uma abordagem qualitativa, na qual devem ser capturadas evidências através da análise de estudos de casos exploratórios. Em relação a esse tipo de abordagem, Miguel et al. cita Maanen (1979), ao dizer que:

A pesquisa qualitativa é (...) um guarda-chuva, que abriga uma série de técnicas de interpretação que procuram descrever, decodificar, traduzir, e qualquer outro termo relacionado com o entendimento e não com a frequência da ocorrência das variáveis de determinado fenômeno. (MIGUEL *et al.*, 2010, p. 51)

Definidos os métodos de pesquisa e abordagem, o universo de estudo correspondeu às instalações de uma empresa do ramo automotivo localizada na região Sul do Brasil, a qual fabrica veículos de passeio, utilitários e motores para o país e Mercosul. Por motivos de confidencialidade, o nome da empresa será mantido em sigilo.

Conforme objetivos específicos, a pesquisa será realizada em 3 fases principais. A primeira etapa, seções 2.1 a 2.3 na revisão da literatura para definir os parâmetros a serem utilizados em cada tema principal do trabalho, sendo: áreas de decisão; indicadores lean; e tecnologias da indústria 4.0, respectivamente:

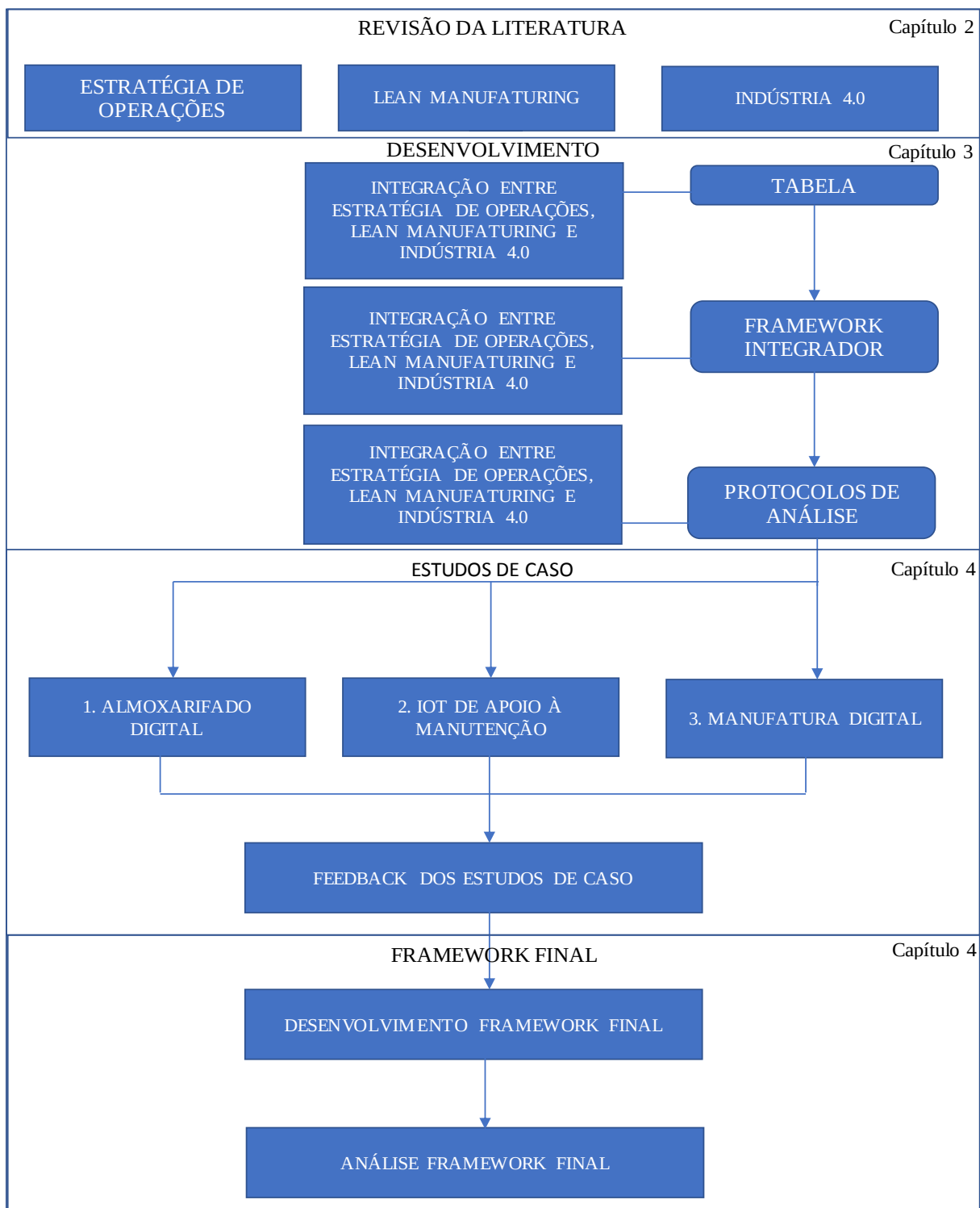
- Gestão Estratégica de Operações;
- Lean Manufacturing;
- Indústria 4.0.

No capítulo 3 as informações serão compiladas em uma tabela integradora, a qual auxiliará tanto na construção do framework genérico de integração entre estratégia, lean e I4.0 quanto no protocolo que servirá como método de análise de 3 estudos de casos exploratórios, a fim de validar o framework integrador.

Essa análise será realizada no capítulo 4 e a validação será firmada por último através da aplicação da tabela integradora como prova real. Com a validação do framework integrador, o próximo passo consiste na consolidação dos resultados através do desenvolvimento de um framework final, no qual serão incorporadas informações de passo a passo utilizado para

avaliação seguido da análise de aplicação do mesmo, como resultado final da proposta da autora. O capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho. Para melhor compreensão, a Figura 1 ilustra um framework da metodologia a ser seguida ao longo do desenvolvimento.

Figura 1: Etapas de desenvolvimento do trabalho



1.5 Importância

As empresas estão cada vez mais preocupadas no quesito estar à frente da concorrência, o que é possível através da corrida tecnológica. Mas para isso ser possível o sistema de produção da organização não pode ser afetado nem tampouco a estratégia de operações da mesma. Portanto, o intuito é integrar esses conceitos através de um framework de alinhamento dos temas estratégia de operações, lean manufacturing e Indústria 4.0 para auxiliar na tomada de decisão de qual tecnologia da era da 4ª revolução industrial investir.

A vantagem de utilização de frameworks auxilia na tomada de decisões de qual tecnologia da indústria 4.0 deve ser utilizada para um determinado objetivo do sistema lean, de acordo com as áreas de decisão críticas de uma maneira mais rápida e assertiva.

Uma justificativa sustentável da sua importância é a questão de se possuir uma base na qual pode-se estudar cenários, a fim de se analisar novos projetos, afinal, no ramo automotivo o desenvolvimento de novos produtos é uma das variáveis mais impactantes para sair na frente da concorrência.

O próximo capítulo apresentará a revisão da literatura como parte dos objetivos específicos para atingir ao objetivo final do trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para auxiliar a responder ao primeiro objetivo específico do presente trabalho é necessário fazer uma revisão da literatura acerca dos temas estratégia de operações, manufatura enxuta e indústria 4.0, afim de embasar o desenvolvimento da obra.

2.1. Estratégia de Operações

2.1.1. Definição da Estratégia de Operações

No ambiente de negócios atual, caracterizado por mudanças rápidas em clientes, tecnologias e competição, as organizações precisam renovar-se continuamente para sobreviver e prosperar (Danneels, 2002).

Os produtos e os serviços produzidos por uma operação são a sua ‘face pública’. É com base neles que os mercados julgam uma empresa: bons produtos e bons serviços são iguais a uma boa empresa (Slack, 2009, p. 237).

De acordo com o site PROAGE, “a gestão de operações pode ser definida como o planejamento, operação, controle e melhoria dos processos que transformam recursos em bens e/ou serviços”.

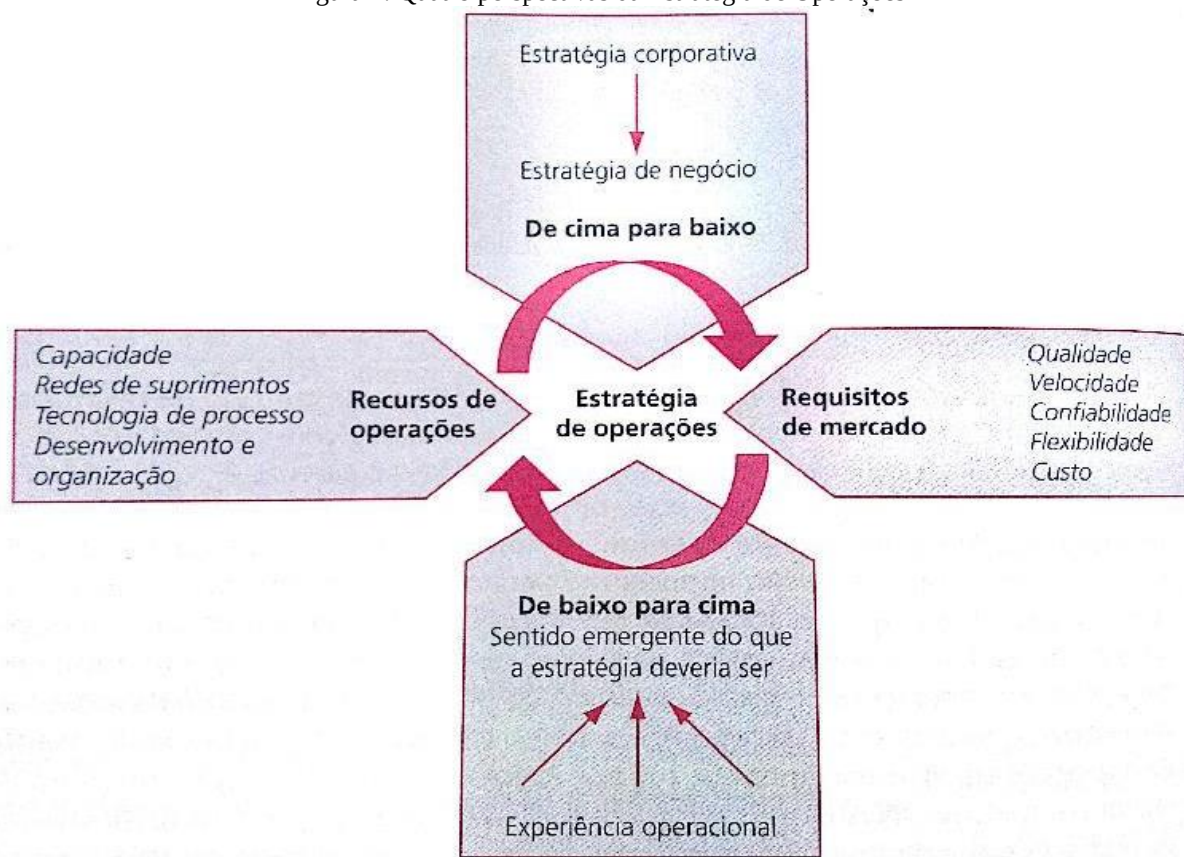
Logo, a gestão de operações é, basicamente, “o que” a empresa vai realizar em termos de planejamento dos processos e operações, a fim de garantir que seus produtos e/ou serviços atendam às necessidades dos clientes.

Alinhado a gestão de operações, tem-se a estratégia de operações. Esta, por sua vez, define “como” serão realizados os processos e operações para atingir o objetivo da empresa. Slack e Lewis (2002) definem estratégia de operações como “o conjunto de decisões que estruturam as competências/capacidades de longo prazo da função operações da organização e a contribuição destas para estratégia global por meio de uma dinâmica reconciliação dos requisitos de mercado e recursos de operações”.

2.1.2. Construção da Estratégia

Slack e Lewis (2009) defendem que a estratégia de operações deve refletir quatro perspectivas, como mostrado na Figura 2.

Figura 2: Quatro perspectivas da Estratégia de Operações



Fonte: Slack e Lewis (2009, p.28)

A perspectiva “de cima para baixo” refere-se que a estratégia de operações deve interpretar a estratégia no nível mais alto, ou seja, o que todo o negócio ou o grupo deseja fazer, qual o objetivo final.

A outra perspectiva “de baixo para cima” defende que a estratégia de operações deve aprender com a experiência do cotidiano, ou seja, que as melhorias em operações de forma cumulativa montam, também, a estratégia.

Os recursos de operações devem explorar as competências da empresa, ou seja, a estratégia de operações deve gerar competências de operações por meio dos itens de capacidade, redes de suprimento, tecnologia de processo e desenvolvimento e organização.

Os requisitos de mercado são os itens pelos quais as decisões de operações se baseiam, a fim de satisfazer os mercados da organização.

A conciliação dos requisitos de mercado (qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo), também conhecidos como objetivos de desempenho, com os recursos de operações (ou áreas de decisão) formam o conteúdo da estratégia de operação (Slack e Lewis, 2009), como ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Conciliação dos requisitos de mercado com os recursos de operações



Fonte: Slack e Lewis (2009, p.47)

Essa relação também é responsável pela formação de uma matriz estratégica de operações (Figura 4). A matriz é responsável por descrever a estratégia de operações por meio da intersecção entre os objetivos de desempenho com as áreas de decisão.

Figura 4: Matriz estratégica de operações



Fonte: Slack e Lewis (2009, p.54)

De acordo com Slack e Lewis (2009, p.54), tais intersecções refletirão a prioridade dos objetivos de desempenho e das áreas de decisão que são afetadas pelos recursos estratégicos da empresa. Ou seja, quais são as funções críticas da empresa, relacionados aos objetivos de desempenho e áreas de decisão, que afetam ou afetarão o cumprimento do objetivo final da organização.

Uma vez que as ações foram tomadas, se faz necessário o acompanhamento para medição dos resultados.

2.1.3. Sistema de Medição de Desempenho

Neely et al. (1995) define o Sistema de Medição de Desempenho (SMD) como “o conjunto de métricas utilizadas para quantificar a eficiência e a eficácia das ações”. Segundo Franco-Santos et al. (2004), SMD é o conjunto de processos que uma organização usa para o gerenciamento da implementação estratégica, comunicação de sua posição e progresso, e influência no comportamento e ações dos seus funcionários.

A utilização de sistemas de medição e gestão de desempenho é frequentemente recomendada para facilitar a implementação da estratégia e melhorar o desempenho organizacional (Davis e Albright, 2004). Pois, de acordo com Ghalayini e Noble (1996), as medidas de desempenho são utilizadas para avaliar, controlar e melhorar a produção e os processos, garantindo assim que as empresas cumpram suas metas e objetivos.

Para alguns pesquisadores (eg, Magretta e Stone, 2002), SMD é mais importante do que a declaração de missão: métricas permitem que a organização comunique a estratégia a todos em termos que eles possam entender, tornando a estratégia significativa e concreta. Isso ocorre pelo fato mencionado por Bourne et al. (2000), Kennerley e Neely (2003), Marr e Neely (2002), Nudurupati e Bititci (2005), de que uma vez que a informação é recolhida sobre cada medida, elas são implementadas de acordo com as quatro tarefas a seguir: criação, coleta e análise de dados; e distribuição de informação.

Outro motivo da importância do SMD é devido aos gestores de empresas precisarem de medidas preditivas que indicam o que pode acontecer na próxima semana, no próximo mês ou no próximo ano (Neely, 1999).

Em se tratando do papel do SMD, Mahidhar (2005) afirma que, a medição de desempenho realiza papel importante em uma organização ao longo de 5 dimensões, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Dimensões de Desempenho

DIMENSÃO	DESCRIÇÃO
MONITORAMENTO	Medir e registrar o desempenho real.
CONTROLE	Identificar a possibilidade de aproximar a meta prevista com o resultado real.
MELHORIA	Identificar oportunidades de melhoria críticas.
COORDENAÇÃO	Fornecer informações para a tomada de decisões e permitir a comunicação interna através de processos, bem como a comunicação externa com as partes interessadas.
MOTIVAÇÃO	Comportamento de incentivo a melhoria contínua.

Fonte: Adaptado de Mahidhar (2005, p 62)

Com base na literatura existente de modelos SMD, Bititci, Turner e Begemann (2000) e Hudson et al. (1999) listaram os requisitos para a concepção de medidas de desempenho: identificar requisitos das partes interessadas; realizar monitoramento externo; desenvolver os objetivos; alinhamento do sistema de implantação dos indicadores; relações causais (entre líder e indicadores de resultado); quantificar as relações causais; e identificação das capacidades.

Os primeiros sistemas de medição de desempenho priorizavam indicadores financeiros. Entretanto, alguns autores começaram a criticar o uso de indicadores financeiros argumentando que eles visavam resultados a curto prazo, o que poderia ameaçar a sobrevivência das empresas (Lima et al., 2011).

Portanto, verificou-se a necessidade da criação de novos modelos de SMD que incluíssem outras perspectivas (indicadores não-financeiros), a partir dessa necessidade surgiram algumas abordagens, criadas a partir de 1980. Dentre elas, destacam-se:

- Performance Pyramid (Pirâmide de desempenho) – criadores: Cross e Lynch em 1990;
- Balanced Scorecard (BSC) – criadores: Kaplan e Norton em 1992;
- Performance Prism – criadores: Kennerly e Neely, 2000.

2.2. Lean Manufacturing

2.2.1. Introdução a Manufatura Enxuta

As organizações industriais, após a era da produção artesanal, vêm buscando alternativas de produção ao longo dos anos a fim de se manterem competitivas, desenvolvendo métodos e técnicas que se adaptem ao mercado que atendem. De acordo com LUSTOSA ET AL (2008, p.1):

A produção de bens de consumo, como a conhecemos hoje, somente teve início com a Revolução Industrial, quando foi possível produzir e criar meios para o consumo em massa. (...) No início do século XX, Taylor elaborou os princípios da administração científica (...), baseada na observação medição, análise e aprimoramento dos métodos de trabalho.(...) Ainda nas primeiras décadas do século

XX, o empresário Henry Ford aplicou (...) a produção em massa de automóveis, utilizando o conceito de linhas de montagem móveis e peças intercambiáveis. (...) No campo metodológico, a influência japonesa nos sistemas de PCP, desde o início da década de 1980, faz-se visível principalmente pelo sistema Toyota de produção, que contribuiu para a redução drástica dos estoques na cadeia produtiva. (...) Atualmente, o paradigma da Produção Enxuta (Lean Production) incorpora diversas técnicas consagradas pela Teoria das Restrições (TOC), Gestão da Qualidade Total e pelo próprio JIT (Just in Time), de modo a alcançar a flexibilidade e alto volume de produção, combinando vantagens da produção em massa e da customização. Os princípios Lean ganharam notoriedade na década de 1980 com a divulgação dos resultados de um projeto de pesquisa conduzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) que estudou as práticas gerenciais e os programas de melhorias adotados por empresas líderes de mercado na cadeia de produção automotiva e constatou que a adoção destes princípios em muito contribuiu para sua competitividade.

O pensamento enxuto, também chamado de Manufatura Enxuta e igualmente conhecido como Lean Thinking, está apoiado no princípio do Sistema Toyota de Produção (STP). Cardoza&Carpinetti (2005) cita Ohno (1997) ao dizer que o foco da produção enxuta é a absoluta eliminação ou redução do desperdício. Isso envolve mudanças nas práticas de gestão de qualidade e gestão de operações utilizadas para melhorar e gerenciar os processos produtivos. Uma das alterações mais significativas diz respeito ao conjunto de indicadores de desempenho (ID's) que são utilizados pelos gerentes de manufatura para avaliar a qualidade industrial do processo e dos produtos, o inventário dos estoques em processos (work-in-process - WIP), a produtividade da célula, o tempo de fabricação, o tempo de preparação (setup), a satisfação dos clientes e dos funcionários, entre outros. Pode ser definido como uma abordagem sistemática que permite a identificação e eliminação de perdas nos processos produtivos, enquanto tem seu foco principal em agregar qualidade e entregar ao cliente somente o que ele considera como valor (GRABAN, 2009).

Sanders, Elangeswaran, Wulfsber (2016) cita Shah e Ward (2007) que realizaram um estudo abrangente e multi-passo para identificar a estrutura dimensional da produção enxuta e desenvolver escalas confiáveis para significá-las. Eles quantificaram a definição conceitual e a medida da fabricação lean em dez fatores, conforme lista abaixo.

1. *Feedback do fornecedor*: Produtos e serviços críticos e performances devem ter feedbacks recebidos dos clientes para serem periodicamente comunicados aos fornecedores, para transferência efetiva de informações.

2. *Entrega Just-In-Time (JIT) pelos fornecedores*: Apenas a quantidade necessária de produtos a serem entregues pelos fornecedores no horário especificado quando os clientes os exigirem.

3. *Desenvolvimento de fornecedores*: Fornecedores a serem desenvolvidos junto com o fabricante, para evitar inconsistências ou desajustes em níveis de competência.

4. *Envolvimento do cliente*: Os clientes são os principais motores de uma empresa, suas necessidades e expectativas devem ser prioritárias.

5. *Produção de puxar*: Uma iniciação da necessidade do sucessor através do kanban deve permitir o fluxo de produção do antecessor, como produção JIT.

6. *Fluxo contínuo*: Um fluxo aerodinâmico de produtos sem largas paradas deve ser estabelecido em toda a fábrica.

7. *Redução do tempo de instalação*: O tempo necessário para adaptar os recursos para as variações nos produtos deve ser mantido o menor possível.

8. *Manutenção preventiva / produtiva total*: A falha de máquinas e equipamentos deve ser evitada por procedimentos de manutenção periódica efetiva. Em caso de falha, o baixo tempo de retificação deve ser mantido.

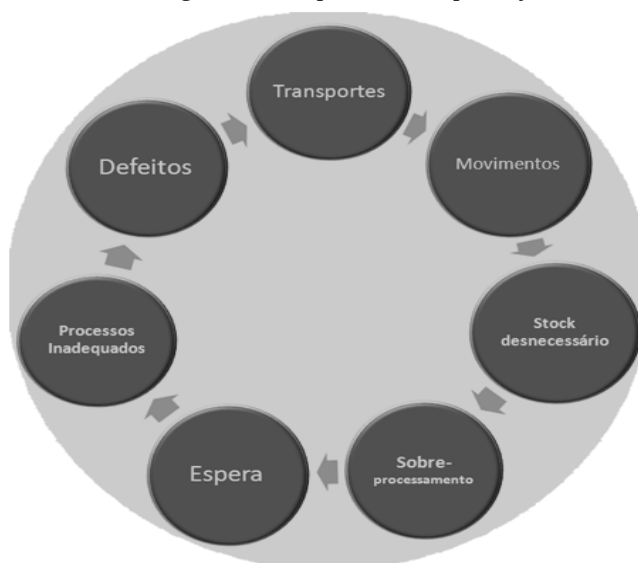
9. *Controle de processo estatístico*: A qualidade dos produtos é de primordial importância, nenhum defeito deve ser percolado de um processo para o próximo.

10. *Envolvimento dos funcionários*: Com motivação e direito adequados, os funcionários devem ser capacitados para uma contribuição global para a empresa

2.2.2. Desperdícios da produção

A filosofia Lean se utiliza da aplicação de um número de ferramentas e estratégias que auxiliam a simplificar todos os aspectos dos processos de negócios, por meio do ataque direto a cada tipo de perda originada pelos sistemas produtivos (AHERNE & WHELTON, 2010). Estas perdas são caracterizadas pelos 7 desperdícios da produção, originalmente denominados como “mudas” e propostos por Taiichi Ohno, engenheiro de produção e precursor do STP na década de 1940. Mais recentemente, novos desperdícios foram sendo adicionados nos “mudas”, como representado na Figura 5.

Figura 5: 7 desperdícios da produção



Fonte: Moreira (2014)

MENEGON et al (2003) descreveram cada categoria do desperdício, como segue:

- 1) *Desperdício de Superprodução*: De todas as sete perdas, a perda por superprodução é a mais danosa. Ela tem a propriedade de esconder as outras perdas e é a mais difícil de ser eliminada. Existem dois tipos de perdas por superprodução: perda por produzir demais (superprodução por quantidade) e perda por produzir antecipadamente (superprodução por antecipação). Este tipo de desperdício surge através de problemas e restrições do processo produtivo, como: altos tempos de preparação de equipamentos, levando à produção em grandes lotes; incerteza da ocorrência de problemas de qualidade e confiabilidade de equipamentos, levando a produzir mais do que o necessário; falta de coordenação entre as necessidades (demanda) e a produção, em termos de quantidades e momentos; grandes distâncias a percorrer com o material, em função de um arranjo físico inadequado, levando à formação de lotes para movimentação, entre outros. Desse modo, a filosofia Enxuta sugere que se produza somente o que é necessário no momento e, para isso, que se reduzam os tempos de setup, se sincronize a produção com a demanda, se compacte o layout da fábrica e assim por diante;
- 2) *Desperdício por Espera*: Este desperdício resulta na formação de filas que visam garantir altas taxas de utilização dos equipamentos. Existem três tipos de desperdício por espera: Perda por Espera no Processo, onde o lote inteiro aguarda o término da operação que está sendo executada no lote anterior, até que a máquina, dispositivos e/ou operador estejam disponíveis para o início da operação (processamento, inspeção ou transporte); Perda por

Espera do Lote, que representa a espera a que cada peça componente de um lote é submetida até que todas as peças do lote tenham sido processadas para, então, seguir para o próximo passo ou operação; Perda por Espera do Operador, que é a ociosidade devido ao desbalanceamento de operações. A sincronização do fluxo de trabalho e o balanceamento das linhas de produção contribuem para a eliminação deste tipo de desperdício;

- 3) *Desperdício de Transporte*: O transporte é uma atividade que não agrega valor, e como tal, pode ser encarado como perda que deve ser minimizada. A otimização do transporte é, no limite, a sua completa eliminação. A eliminação ou redução do transporte deve ser encarada como uma das prioridades no esforço de redução de custos pois, em geral, o transporte ocupa 45% do tempo total de fabricação de um item. Encaradas como desperdícios de tempo e recursos, as atividades de transporte e movimentação devem ser eliminadas ou reduzidas ao máximo, através da elaboração de um arranjo físico adequado, que minimize as distâncias a serem percorridas. Além disso, custos de transporte podem ser reduzidos se o material for entregue no local de uso;
- 4) *Desperdício de Processamento*: É comum que os gerentes se preocupem em como fazer algo mais rápido, sem antes questionar se aquilo deve realmente ser feito. Nesse sentido, torna-se importante a aplicação das metodologias de engenharia e análise de valor, que consistem na simplificação ou redução do número de componentes ou operações necessárias para produzir determinado produto. Qualquer elemento que adicione custo e não valor ao produto é candidato a investigação e eliminação. Dessa forma, entende-se esse tipo de perda como sendo as parcelas do processamento que poderiam ser eliminadas sem afetar as características e funções básicas do produto/serviço;
- 5) *Desperdício de Movimentação*: As perdas por movimentação relacionam-se aos movimentos desnecessários realizados pelos operadores na execução de uma operação. Este tipo de perda pode ser eliminado através de melhorias baseadas no estudo de tempos e movimento. Tipicamente, a introdução de melhorias como resultado do estudo dos movimentos pode reduzir os tempos de operação em 10 a 20%. Para este tipo de desperdício, a importância das técnicas de estudo de tempos e métodos é justificada pelo fato de a Produção Enxuta ter um enfoque essencialmente de “baixa tecnologia”, apoiando-se em soluções simples e de baixo custo, ao invés de grandes investimentos em automação. Ainda que se decida pela automação, deve-se aprimorar os movimentos para, somente então, mecanizar e automatizar. Caso contrário, corre-se o risco de automatizar o desperdício;

- 6) *Desperdício por Defeitos*: A perda por defeitos é o resultado da geração de produtos que apresentem alguma de suas características de qualidade fora de uma especificação ou padrão estabelecido e que por esta razão não satisfaçam a requisitos de aplicação (uso). Produzir produtos defeituosos significa desperdiçar materiais, disponibilidade de mão-de-obra, disponibilidade de equipamentos, movimentação de materiais defeituosos, armazenagem de materiais defeituosos, inspeção de produtos, entre outros;
- 7) *Desperdício de Estoque*: É a perda sob a forma de estoque de matéria-prima, material em processamento e produto acabado. Significam desperdício de investimento e espaço. Uma grande barreira para o ataque às perdas por estoque é a “vantagem” que os estoques proporcionam de aliviar os problemas de sincronia entre os processos. No ocidente, os estoques são vistos como um “mal necessário”. O mapeamento da cadeia de valor permite identificar a posição da perda por estoque e aplicar contramedidas de forma a reduzi-la gradativamente. A redução dos desperdícios de estoque deve ser feita através da eliminação das causas geradoras da necessidade de manter estoques. Isto pode ser feito reduzindo-se os tempos de preparação de máquinas e lead times de produção, sincronizando-se os fluxos de trabalho, reduzindo-se as flutuações de demanda, tornando as máquinas confiáveis e garantindo a qualidade dos processos

2.2.3. Ferramentas da manufatura enxuta

Abaixo, são listadas algumas das ferramentas utilizadas na filosofia Lean, a fim de reduzir os desperdícios apresentados anteriormente.

- **Ciclo PDCA**: Refere-se ao ciclo de melhoria contínua proposto por Deming, o qual considera cada nova melhoria o ponto de partida para um novo aperfeiçoamento, supondo este ciclo contínuo e infinito (CORREA & CORREA, 2008). No contexto das organizações enxutas, o PDCA opera como auxílio na melhoria dos processos internos (GRABAN, 2009).

- **5’S**: constitui uma prática que é importante tanto para motivar a mudança como para se estabelecer uma disciplina e ainda padronizar. Para isso, cada um dos “S” (ou sensos) considerados promove uma atitude fundamental para a racionalização do trabalho. É um ciclo no qual cada S deve ser realizado conforme posição, antes que o próximo seja iniciado. A Tabela 2 apresenta cada um deles.

Tabela 2: Os 5 sentidos

Ordem	Senso	Significado	Prática
1S	Seiri	Organização	Faça o necessário
2S	Seiton	Ordem	Um lugar para cada coisa, cada coisa em seu lugar
3S	Seiso	Limpeza	Boa iluminação, baixo ruído, ambiente limpo
4S	Seiketsu	Padronização	Bons resultados devem ser disseminados
5S	Shitsuke	Disciplina	Seguir procedimentos enxutos

Fonte: Adaptado de FABRIZIO e TAPPING (2006)

Vale acrescentar que esta cultura permite um ambiente de trabalho mais organizado, seguro e harmonioso para realizar as tarefas produtivas, além do que, o último S pode ser considerado o mais importante devido ao sentido de respeito a cultura;

- *Fluxo Contínuo*: permite que as informações possam fluir entre as etapas do processo, com remoção de gargalos, sem paradas, sem estoque de informações (arquivo na informática) e sem pessoas se deslocando entre as etapas. A adequação do espaço de trabalho deve permitir que as pessoas possam se olhar, mutuamente, sem divisórias e se posicionarem na sequência do serviço. Esse fato levará a um aumento de produtividade e redução do lead-time (TAPPING; SHUKER, 2003);

- *Hoshin Kanri*: possibilita o gerenciamento das estratégias através dos distintos níveis da empresa e através das diferentes funções hierárquicas, possibilitando a união dos esforços de toda a organização para alcançar objetivos-chave para o negócio (AYALA, 2010 apud WITCHER, BUTTERWORTH, 2001);

- *Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM)*: Value Stream Mapping é uma ferramenta utilizada para mapear todos os processos, analisando todas as atividades que agregam e que não agregam valor, permitindo identificar o tempo de produção e verificar as oportunidades de melhoria e os desperdícios (GUIMARAES, 2015 et al. apud ROTHER E SHOOK, 2003);

- *Trabalho padronizado (TP)*: é a melhor combinação de recursos (como colaboradores e equipamentos), para assegurar que uma tarefa seja realizada sempre da mesma forma. Isso significa discutir, estabelecer, documentar e padronizar, por meio de um procedimento, o melhor resultado, com o melhor método. A padronização nos ambientes administrativos gera um fluxo de atividades contínuo que reduz os gaps na qualidade do serviço; facilitando o treinamento (PICCHI, 2002);

- *Controles visuais*: consistem em estabelecer metas e apresentar resultados de maneira clara e visual, permitindo que todos tenham o entendimento do desempenho do sistema (GIANNINI, 2007);

• *Kanban*: é um modelo de produção e movimentação de materiais do sistema JIT. O kanban é um dispositivo que serve para controlar a ordem das atividades em um processo sequencial. Seu objetivo é indicar a necessidade de mais material e garantir que ele seja entregue a tempo de dar continuidade a execução da atividade (CHIAVENATO, 2005).

2.2.4. Indicadores *lean*

Sánchez & Pérez (2001) apresentam um *checklist* contendo um número de 36 indicadores enxutos encontrados na literatura e os relacionam à seis grupos de indicadores seguindo um princípio enxuto, são eles:

- Eliminação das atividades que não agregam valor;
- Melhoria contínua;
- Equipes multifuncionais;
- Produção e entrega just in time;
- Integração de fornecedores;
- Sistemas de informação flexíveis.

Por meio de pesquisa de campo nas indústrias, eles elaboraram uma tabela dos indicadores utilizados e os dividiram em 6 categorias. Consideraram também qual o sentido do indicador para transmitir o progresso da organização. Tais informações estão disponíveis na Tabela 3.

Tabela 3: Indicadores lean da literatura

<i>Categoria</i>	<i>Indicador</i>	<i>Definição</i>	<i>Mudança</i>
Indicadores lean de produção de eliminação atividades NVA	EF1	Porcentagem de peças comuns nos produtos da empresa	↑
	EF2	Valor do trabalho em progresso em relação às vendas	↓
	EF3	Rotação de inventário	↑
	EF4	O número de vezes e distância em que peças são transportadas	↓
	EF5	Tempo necessário para mudanças	↓
	EF6	Porcentagem de manutenção preventiva sobre a manutenção total	↑
Indicadores lean de produção de melhoria contínua	MC1	Número de sugestões por empregado e por ano	↑
	MC2	Porcentagem de sugestões implementadas	↑
	MC3	Economia e / ou benefícios advindos das sugestões	↑
	MC4	Porcentagem de inspeção realizada por controle autônomo de defeitos	↑
	MC5	Porcentagem das peças detectadas e ajustadas pelos trabalhadores da linha de produção	↑
	MC6	Porcentagem de tempo das máquinas permanentes em mau funcionamento	↓
	MC7	Valor da sucata e retrabalho em relação às vendas	↓
	MC8	Número de pessoas dedicadas principalmente ao controle de qualidade	↓
Indicadores lean de produção de equipes multifuncionais	EQ1	Porcentagem de funcionários que trabalham em equipe	↑
	EQ2	Número e porcentagem de tarefas realizadas pelas equipes	↑
	EQ3	Porcentagem de funcionários que fazem rodízio de tarefas dentro da empresa	↑
	EQ4	Frequência média de rodízio de tarefas	↑
	EQ5	Porcentagem de líderes da equipe que foram eleitos pela própria equipe co-workers	↑
Indicadores lean de produção e entrega JIT	P1	Prazo de entrega dos pedidos dos clientes	↓
	P2	Porcentagem de peças entregues just-in-time pelos fornecedores	↑
	P3	Nível de integração entre entrega do fornecedor e sistema de informação de produção da empresa	↑
	P4	Porcentagem de peças entregues just-in-time entre seções na linha de produção	↑
	P5	Tamanhos de lotes de produção e entrega	↓
Indicadores lean de produção de integração de fornecedores	I1	Porcentagem de peças co-projetadas com fornecedores	↑
	I2	Número de sugestões feitas aos fornecedores	↑
	I3	A frequência com que os técnicos dos fornecedores visitam a empresa	↑
	I4	A frequência com a qual os fornecedores da empresa são visitados por técnicos	↑
	I5	Porcentagem de documentos trocados por fornecedores através de EDI ou Intranet	↑
	I6	Contrato de duração média com os principais fornecedores	↑
	I7	Número médio de fornecedores das peças mais importantes	↓
Indicadores lean de produção de sistema de informação flexível	S1	Frequência a qual são dadas informações aos funcionários	↑
	S2	Número de reuniões informativas de alta administração com funcionários	↑
	S3	Porcentagem de procedimentos escritos registrados na empresa	↑
	S4	Porcentagem de equipamento de produção que é integrado ao computador	↑
	S5	Número de decisões que os funcionários podem realizar sem controle de supervisão	↑

Obs: ↑ O indicador deve aumentar para progredir à produção lean
 ↓ O indicador deve diminuir para progredir à produção lean

As necessidades não param de emergir, tendo como consequência a recentemente chamada 4ª revolução industrial, trazendo à tona o termo Indústria 4.0, a qual será discutida na próxima seção.

2.3. Indústria 4.0

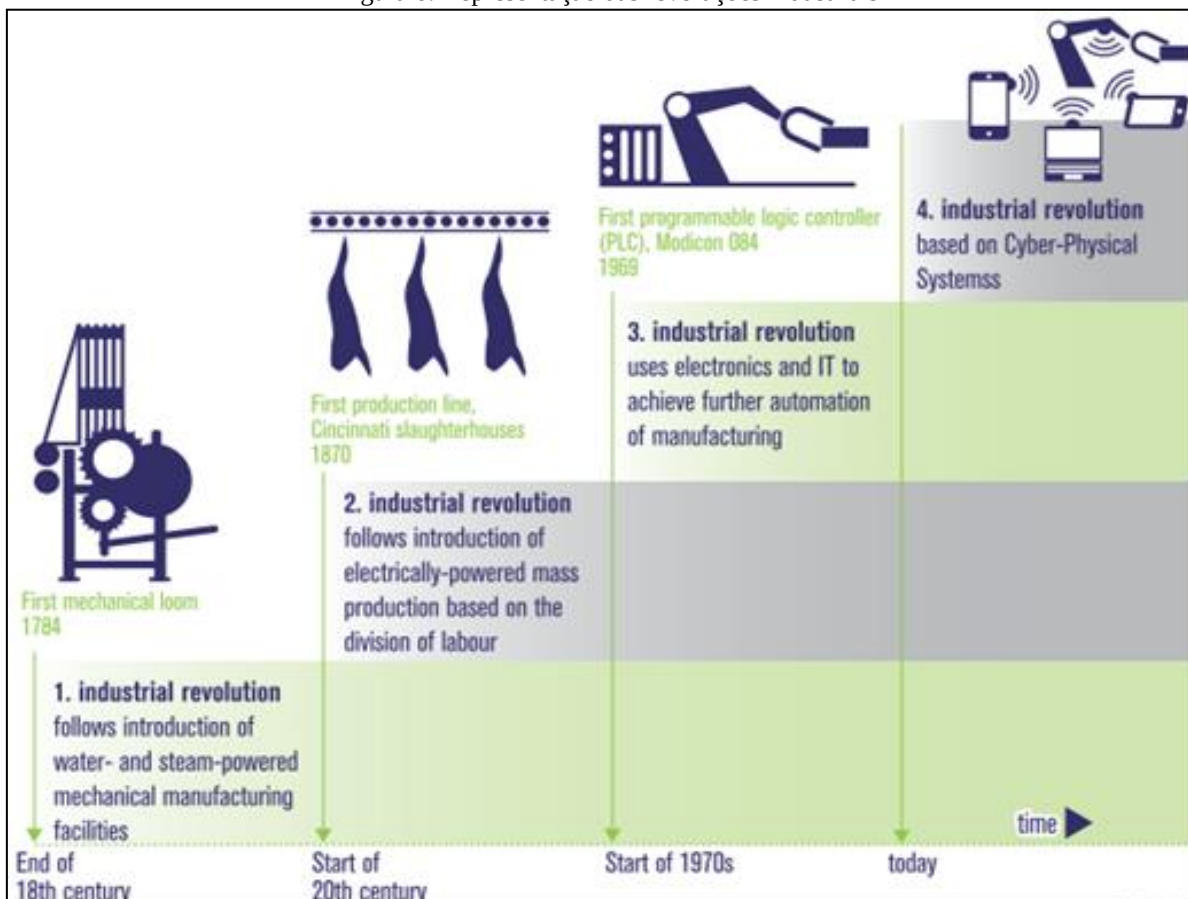
2.3.1. Nascimento da Indústria 4.0

Ao longo dos séculos cientistas e profissionais da área da manufatura se envolveram em buscar soluções e melhorias para os processos produtivos existentes na época e a cultura lean é um dos inúmeros sistemas desenvolvidos para sair na frente da concorrência. Todas essas mudanças e foram concebidas ao longo das três grandes revoluções industriais (RI):

- *1ª RI*: transição do trabalho manual para a produção de máquina e a criação do motor a vapor por James Watt em 1782;
- *2ª RI*: início do fordismo (linha de montagem) por Henry Ford e do taylorismo (controle dos movimentos) por Frederick Taylor, e da energia elétrica;
- *3ª RI*: avanços tecnológicos, como a automatização dos processos da produção através dos robôs industriais e as máquinas numericamente controladas (NC).

Com os avanços das revoluções industriais, foi possível otimizar de forma gradual os processos produtivos de modo a alcançar ganhos significativos nos objetivos de desempenho (custo, confiabilidade, flexibilidade, qualidade e rapidez) almejados de forma singular por cada organização. A frequência e a necessidade de inovação em tornar-se cada vez mais competitivo nos traz para a 4ª Revolução Industrial, a chamada Indústria 4.0 (I4). A Figura 6 ilustra alguns dos principais avanços em cada uma das revoluções, incluindo a quarta.

Figura 6: Representação das revoluções industriais

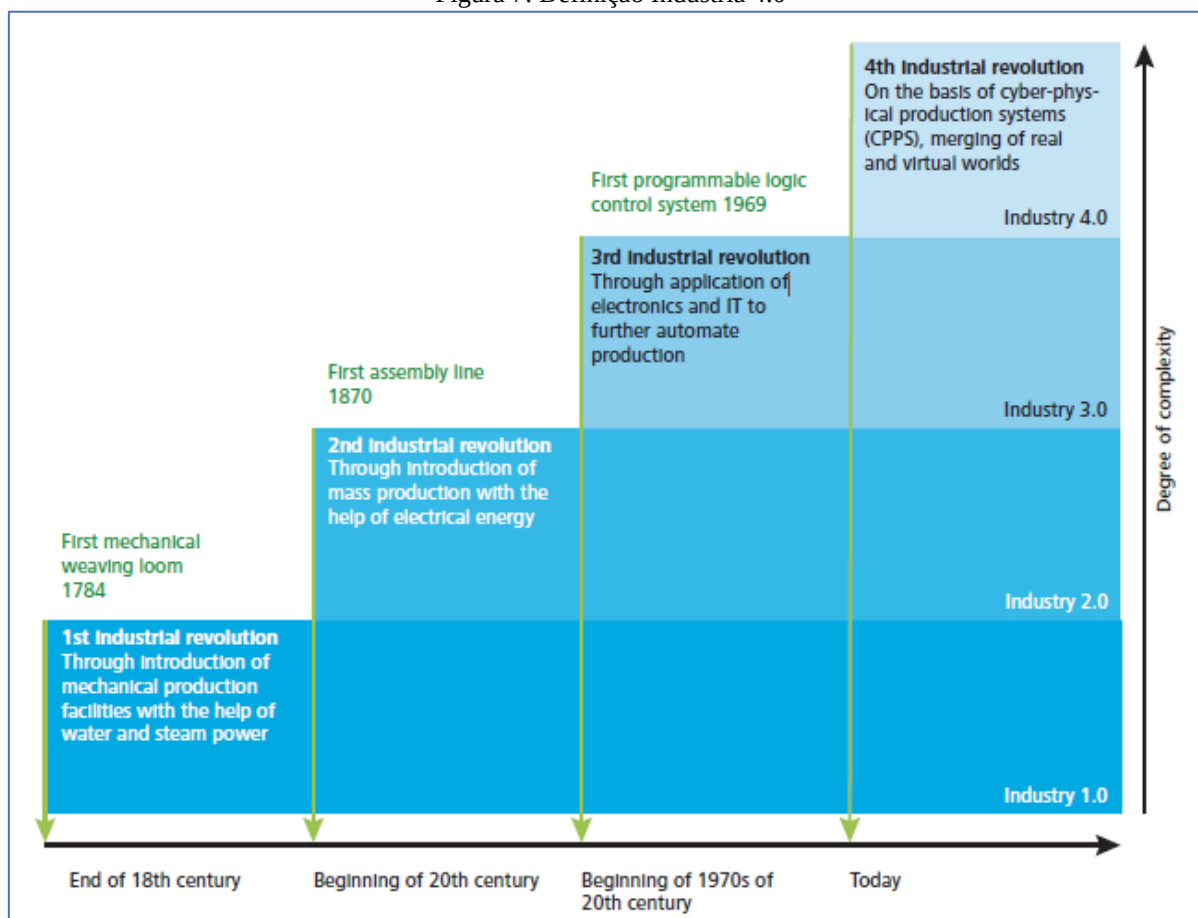


Fonte: KAGERMANN ET AL. (2013)

Em se tratando de linha do tempo, desde o final do século XVIII as indústrias passaram por três evoluções tecnológicas. A primeira revolução industrial ocorreu na transição do trabalho manual para máquinas movidas à vapor, ocasionando novas oportunidades e facilidades para produção industrial. A segunda revolução que ocorreu em meados do século XIX foi caracterizada pela utilização da energia elétrica, introdução da produção em massa e a divisão de trabalho. Na terceira revolução, que ocorreu nos anos 70 e permanece até hoje, é caracterizada pela utilização de eletrônica e tecnologia da informação para maior automação dos sistemas.

Abaixo gráfico esquematizado (Figura 7) da revolução industrial desenvolvido pela Deloitte AG (2015):

Figura 7: Definição Indústria 4.0



Fonte: Deloitte (2015)

A Indústria 4.0, têm a sua base como projeto estratégico de alta tecnologia do governo Alemão, cujo principal objetivo é a integração e interligação das tecnologias da internet nos processos de produção em rede, estabelecendo o produto e as máquinas como objetos ativos no processo produtivo, os quais poderão comunicar-se por meio de ferramentas da inteligência artificial e definir como o produto será fabricado.

2.3.2. Conceituando a Indústria 4.0

Para os autores Kirazli *et* Hormann (2015), o conceito Indústria 4.0 é definido como a sistemática de desenvolvimento de uma rede horizontal e vertical, inteligente e com capacidade de atendimento em tempo real de pessoas, objetos e sistemas. Essa rede é implementada utilizando todas as possibilidades de tecnologias de produção, informação e comunicação, o termo Indústria 4.0 se refere a quarta revolução industrial e o novo estágio de desenvolvimento das organizações e controle da cadeia de valor. Esse avanço é baseado na meta de almejar um

processo produtivo altamente flexível, buscando atender à demanda dinâmica dos consumidores no menor tempo possível.

Em atenção a competência científica e exigências práticas os autores Kirazli *et al* (2015) desenvolveram as seguintes definições:

- *Industry 4.0*: é o desenvolvimento sistemático de um processo inteligente, em tempo real com gestão de redes horizontal e vertical de pessoas, objetos e sistemas. Esta gestão de redes é implementada utilizando todas as possibilidades tecnológicas de produção, informação e comunicação ao longo de toda cadeia de valor.
- *Smart Factory*: insinua a visão da indústria 4.0 na fábrica sem levar em conta a cadeia de valor.
- Os habilitadores tecnológicos são as Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) e Serviços (IoS – *Internet of Services*) como também sistemas cibernético-físicos (CPS – *Cyber-Physical System*): O IoT é a interconexão de objetos físicos em uma representação virtual na internet ou uma infra-estrutura baseada em um sistema de informação semelhante para a *internet*. Esta gestão de *redes* é uma parte importante da Indústria 4.0. Além disso, o IoS está baseado no IoT que é uma exigência básica, e oferece aplicações avançadas. Essa aplicação consiste em funcionalidades que estão disponíveis, como componentes de software (por exemplo: *Appstore*) na internet ou em uma estrutura semelhante para a internet.
- O CPS (sistemas cibernético-físicos) são a entidade de inteligência digital e processos físicos de objetos (*hardwares*), e usam o IoT como plataforma de comunicação. Um sistema de produção cibernético-físico (CPPS) é a gestão de redes de CPS na cadeia de valor utilizando tecnologia de informação.
- Um *embedded system*: é a combinação de *hardware e software* para uma função dedicada. Sistemas embutidos existiram durante alguns anos, mas as gestões de redes de vários sistemas embutidos resultam em um CPS.
- *Big Data*: termo para qualquer análise, estruturação e combinação do potencial de reconhecimento de dados de diferentes fontes. Uma das fontes pode ser o IoT, considerando que o IoS está baseado em usar *big datas*.

O conceito indústria 4.0 para Kemper *et al* (2014) descreve um projeto futuro que pode ser definido por duas direções de desenvolvimento. De um lado existe grande aplicação do

conceito do sistema de produção puxada, o qual induz a modificações no *framework* de operações, ligados a política e economia das empresas. São esses em particular:

- Desenvolvimento em curtos períodos de inovação;
- Individualização da demanda, que é determinada pelo cliente;
- Flexibilidade no desenvolvimento de produtos;
- Descentralização, para rápidas tomada de decisão;
- Eficiência de recursos.

Por outro lado, os autores Kemper *et al.*(2014) afirmam que existe a característica da tecnologia empurrada que deve ser praticada pela indústria. Essa tecnologia já influencia diariamente a rotina diária nas empresas privadas. A exemplo podemos citar, *Web 2.0*, *Smartphones*, *laptops*, impressoras 3D, entre outros. Ademais, as aproximações extensivas de tecnologia empurradas podem ser identificadas como:

- Aumento da mecanização e automação;
- Digitalização e *networking*; e
- Miniaturização dos hardwares.

2.3.3. Benefícios da 4ª revolução industrial

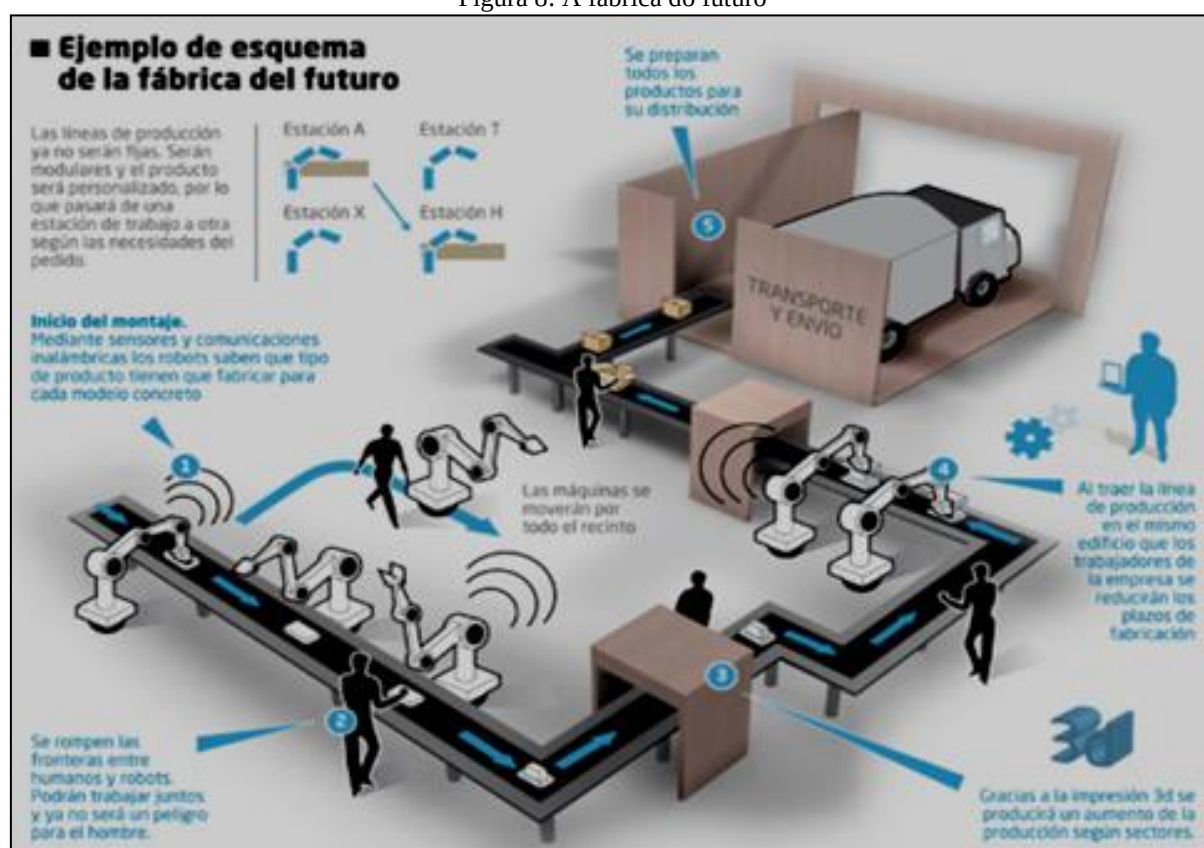
A partir desse conceito inicial, podemos definir os benefícios da implementação dessa nova tecnologia. Segundo os autores Kirazli *et* Hormann (2015) os principais benefícios são:

- Capacidade de atendimento em tempo real;
- Segurança;
- *Networking*;
- Produzir em escala;
- Transparência;
- Flexibilidade;
- Produção modular;
- Descentralização;
- Autonomia.

Segundo Edson Perin (2015), a Indústria 4.0 “aponta para uma evolução dos sistemas produtivos industriais, com benefícios como a redução de custos, a economia de energia, o aumento da segurança, a conservação ambiental, a redução de erros, o fim do desperdício, a transparência nos negócios, o aumento da qualidade de vida e a personalização em uma escala sem precedentes”. Gausemeier *et al.* (2014), destaca alguns outros benefícios como: maior

flexibilidade e robustez em conjunto com os mais altos padrões de qualidade em engenharia, planejamento, fabricação, operação e processos logísticos; condução do aparecimento de dinâmica, em tempo real otimizado, o valor de auto-organização das cadeias que podem ser otimizadas com base numa variedade de critérios como custo, disponibilidade e consumo de recursos. A Figura 8, representa como as indústrias funcionarão com o advento da Indústria 4.0.

Figura 8: A fábrica do futuro



Fonte: Climent (2014).

Apesar dos inúmeros benefícios identificados é necessário considerar alguns pontos de atenção com a implementação da Indústria 4.0. O primeiro e principal deles, partindo do ponto de vista de que o principal conceito da I4.0 é a integração entre os sistemas produtivos e gerenciais, é ter o conhecimento de como os sistemas irão se comunicar e como estes irão comunicar-se com os produtos e com as pessoas, visto que por ser diversos sistemas cada qual tem sua particularidade. Logo, o primeiro ponto é ir em busca da forma de comunicação necessária a implementação. Segundo, disseminar a importância da veracidade das informações de entrada do sistema e a leitura que deve ser feita das informações de saída. Terceira, implementar módulos de gestão em cada fase do processo produtivo, considerando toda a cadeia de valor, a fim de monitorar todas as atividades pelas quais o produto deve passar, pois assim caso ocorra algum problema ou erro em alguma atividade facilita na coleta de informações.

Em sua obra, Sanders&Elangeswaran&Wulfsber (2016) apresenta uma tabela resumo das dimensões lean, desafios e soluções da I4.0, ilustrado na Tabela 4.

Tabela 4: Resumo de dimensões lean, desafios e soluções da I4.0

Dimensões do Lean Manufacturing	Desafios para implementação enxuta vindos das perspectivas de integração	Soluções fornecidas pela Indústria 4.0
Feedback dos fornecedores	Experiência e recursos limitados	Fabricação colaborativa
	Diferença nos modelos de negócios, operação e práticas de manutenção de dados	Melhores mecanismos de comunicação
		Sincronização de dados
Entrega JIT pelos fornecedores	Estado incompleto de envio de mercadorias	Etiqueta de item
	Incompatibilidade na quantidade de mercadorias transportada	Rastreamento sem fio das mercadorias
	Atrasos inesperados durante o transporte	Reafecção inteligente do pedido
Desenvolvimento de fornecedores	Recursos e conhecimentos inadequados	Interfaces padronizadas
	Compatibilidade de equipamentos entre organizações	Organizações virtuais - cooperação sinérgica
Envolvimento do cliente	Pouca flexibilidade para a alteração do produto	Período de congelamento alongado
	Relacionamento entre necessidades e funções	QFD de grande volume
	Adquirir necessidades exatas do cliente	Análise de uso
Produção puxada	Erro na quantidade de material fornecido	Monitoramento de reposição de material
	Mudanças no cronograma de produção	Acompanhamento de agendamento e atualização de kanban
Fluxo contínuo	Erros na contagem de inventário	Acompanhamento de estoque em tempo real
	Capacidade de atender a escassez	Subcontratação
	Sistemas de controle centralizados	Tomada de decisão descentralizada
Redução do tempo de configuração/setup	Adaptação de processo baseada na experiência humana	Auto-otimização e aprendizado automático
		Comunicação da máquina-trabalho
Manutenção produtiva / preventiva total	Sem controle da quebra da máquina	Comunicação da máquina-trabalho
	Tempo de resolução de problemas desconhecido	Avaliação de auto-manutenção
		Sistema de controle de manutenção preditiva
Controle estatístico de processo	Ignorância de operadore	Comunicação da máquina-trabalho
	Incapacidade de acompanhar as variações do processo	Melhoria da interface homem-máquina
		Processamento de rastreamento, integração e gerenciamento
Envolvimento do funcionário	Mecanismos de resposta inadequados	Dispositivos de feedback inteligentes
	Práticas de avaliação de desempenho	Sistemas de suporte ao trabalhadores
	Monotonia no trabalho	Melhoria da interface homem-máquina

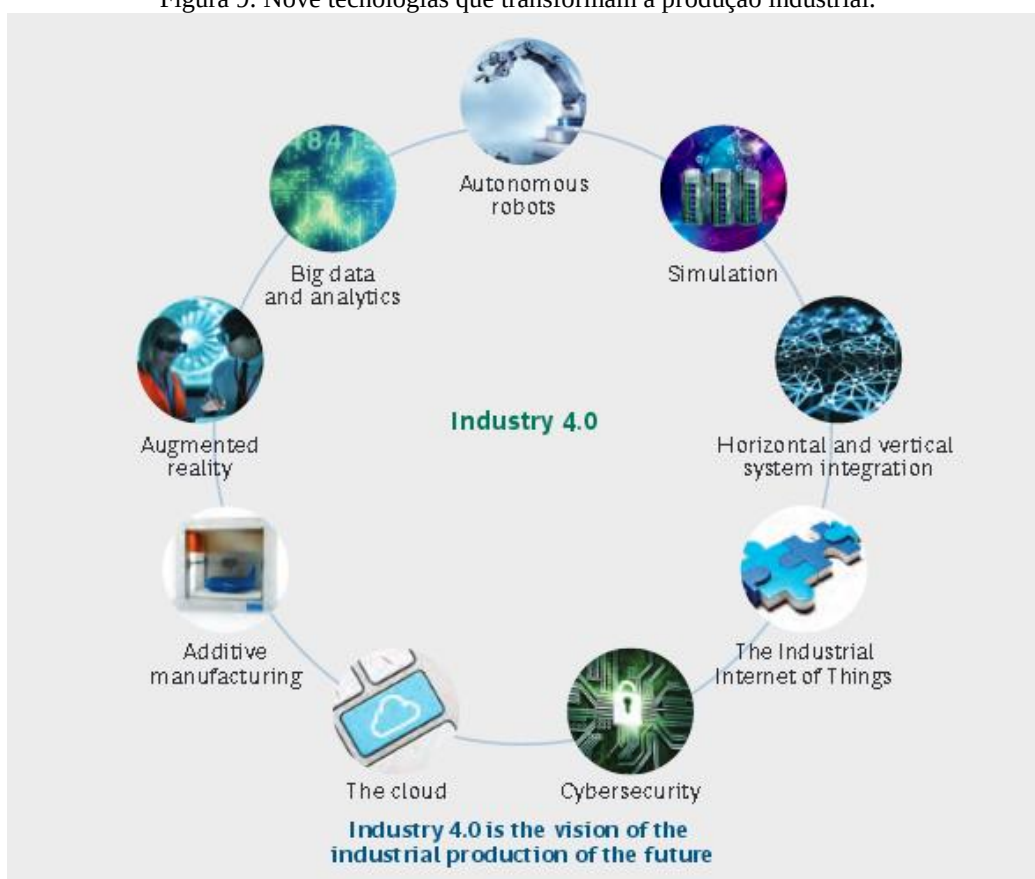
Fonte: Traduzido de Sanders, Elangeswaran, Wulfsber (2016)

2.3.4. Tecnologias da Indústria 4.0

Segundo Rüßmann *et al.* (2015), a transformação deve ser intensificada por nove fundamentos da tecnologia avançada (Figura 9), são eles:

- Automação
- Simulação
- Integração horizontal e vertical do sistema
- O desenvolvimento da Indústria da Internet das coisas (IoT)
- Segurança cibernética
- A nuvem
- Manufatura aditiva (impressão 3D)
- Realidade aumentada
- *Big data* e análises

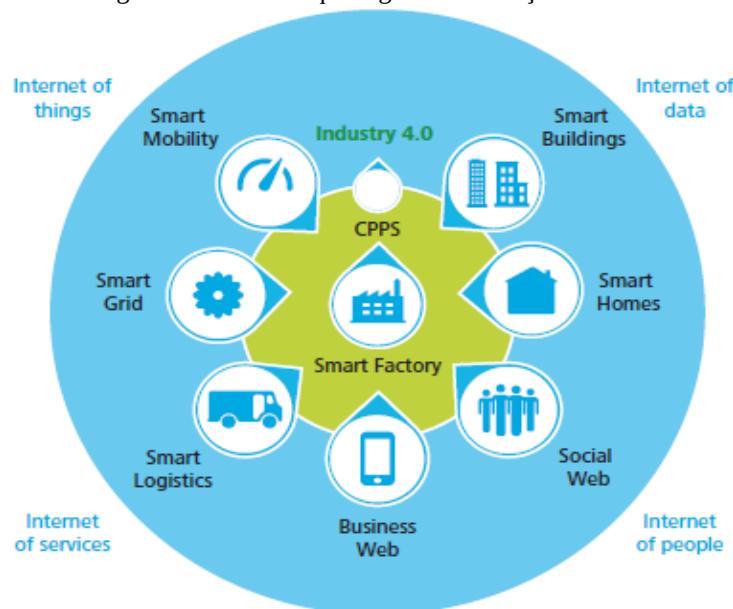
Figura 9: Nove tecnologias que transformam a produção industrial.



Fonte: BCG.

Para desenvolvimento de um ambiente da Indústria 4.0, a empresa *Deloitte* (2015), desenvolveu um *framework* com os conceitos que formam a interface da quarta revolução industrial, apresentado na Figura 10.

Figura 10: Interface que rege a 4ª revolução industrial.



Fonte: Deloitte (2015)

Como apresentado no modelo acima, a importância central da indústria 4.0 é a interface entre outras infraestruturas inteligentes, como mobilidade inteligente, grade, logística e construções inteligentes. Como também os links entre *business* e redes sociais prestam importante papel na transformação digital para Indústria 4.0.

A maioria dos nove avanços na tecnologia apresentados para a fundamentação da Indústria 4.0 já foram aplicados na indústria, mas essa nova revolução irá transformar a fabricação de produtos desenvolvendo maior característica isolada, células otimizadas e totalmente integradas, automatização, e fluxo otimizado de produção buscando aumentar a eficiência e modificando o interrelacionamento entre os fornecedores, produtores e consumidores, como também entre homens e máquinas.

Diante desse novo conceito, o grupo *Boston Consulting Group* apresentou algumas soluções para a Indústria automotiva, futuramente poderemos controlar o sistema de produção através de um sistema informacional que através de dados integrados conseguirão modificar o seu processo, como também automaticamente enviar informações das alterações para o fornecedor, maximizando o conceito de *just-in-time*. Podemos considerar como outra possibilidade de aplicação no mercado automotivo, durante o tempo de vida do carro será possível criar um

modelo virtual do produto integrando todos os dados importantes que serão constantemente alterados, na busca de melhorar o carro através das alterações exigidas pelos clientes no controle pós-venda. O grupo de consultores estima que nos próximos 10 anos, esse tipo de tecnologia irá gerar um ganho de R\$ 114 bilhões.

Para fechar a seção, a autora consolida na Figura 11, as informações da revisão da literatura relacionando as tecnologias da Indústria 4.0 com os benefícios a serem adquiridos a partir de sua implantação.

Figura 11: Tecnologias da Indústria 4.0 e seus benefícios

Benefícios	Tecnologias correspondentes
Capacidade de atendimento em tempo real	Automação Aditivos da manufatura
Segurança	Segurança cibernética Big data e análises
Networking	Realidade aumentada Big data e análises
Produzir em escala	O desenvolvimento da Indústria da Internet das coisas (IoT)
Transparência	A nuvem
Flexibilidade	Realidade aumentada
Produção modular	Automação
Descentralização	Integração horizontal e vertical do sistema
Autonomia	Automação Simulação O desenvolvimento da Indústria da Internet das coisas (IoT)
Redução de desperdícios	Automação O desenvolvimento da Indústria da Internet das coisas (IoT) Simulação

Fonte: A autora (2017)

Apresentadas as revisões de literatura dos temas chaves da presente pesquisa, a próxima sessão traz um resumo de alinhamento entre estratégia, lean e indústria 4.0 de maneira a utilizar como parte da metodologia de análise nos próximos capítulos para responder ao objetivo do trabalho.

2.3.5. Alinhamento entre estratégia de operações, *lean* manufaturing e indústria 4.0

O conceito indústria 4.0 para Kemper *et al* (2014) descreve um projeto futuro com aplicação do conceito do sistema de produção puxada, o qual induz a modificações no *framework* de operações, ligados a política e economia das empresas.

Segundos os autores Kirazli *et* Hormann (2015), *CIM* (*Computer Integrated Manufacturing*) e *Lean Production* atuam como precursores da quarta revolução industrial. O *CIM* atua como controle e automação do processo produtivo, usando tecnologias de informação e comunicação. E por outro lado, o conceito *lean* segue a sistemática de eliminação de desperdício nos processos produtivos, se preocupa em eliminar desperdício gerados pela sobrecarga ou por desigualdade na carga de trabalho.

Através da revisão da literatura foi possível integrar os temas estratégia de operações, lean manufacturing e indústria 4.0 na Tabela 5 que representa as relações entre eles com o pressuposto dos benefícios da I4.0, cujas informações servirão como: i) apoio na construção do framework e do protocolo de análise; ii) prova real dos estudos de caso.

Tabela 5: Tabela Integradora

Benefícios I4.0	Tecnologias correspondentes I4.0	Áreas de Decisão	Categoria do indicadores lean
Capacidade de atendimento em tempo real	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT
	Manufatura aditiva	Estratégia de capacidade Rede de suprimentos Tecnologia de processo	Integração de fornecedores Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT
Segurança	Segurança cibernética	Desenvolvimento e organização	Integração de fornecedores Sistema de informação flexível
	Big data e análises	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	
Networking	Realidade aumentada	Desenvolvimento e organização	Melhoria contínua Equipes multifuncionais
	Big data e análises	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Produzir em escala	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
Transparência	A nuvem	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
Flexibilidade	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Manufatura aditiva	Estratégia de capacidade Rede de suprimentos Tecnologia de processo	Melhoria contínua Produção e entrega JIT Integração de fornecedores
	Realidade aumentada	Desenvolvimento e organização	Melhoria contínua Equipes multifuncionais
Produção modular	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
Descentralização	Integração horizontal e vertical do sistema	Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Autonomia	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Simulação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo Desenvolvimento e organização	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua
	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
Redução de desperdícios	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
	Simulação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo Desenvolvimento e organização	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT

Fonte: A autora (2017)

A Tabela Integradora relaciona os indicadores de cada tema chave do presente trabalho partindo do objetivo como atender aos benefícios da Indústria 4.0 através de qual tecnologia; qual área de decisão será impactada; e qual o indicador lean necessita ser atingido. Desta maneira é possível identificar por meio dos parâmetros, um resultado que atenda as expectativas como um suporte as tomadas de decisão. Essa tabela estará inclusa no método passo a passo da análise do framework como um padrão a ser seguido.

A Tabela 6 apresenta as relações possíveis entre os temas para que haja coerência entre eles, referenciados por citações da literatura para melhor exemplificação.

Tabela 6: Relações entre os temas

Objetivo da relação	Descrição	Citação da Literatura
1. A estratégia influencia os projetos lean	Os projetos lean são motivados por redução de desperdícios e devem ser linkados a uma estratégia de operações da organização visto que as tomadas de decisão possuem cunho de competição de mercado, mas as ações não devem sacrificar os pilares do sistema de produção da empresa.	A filosofia Lean se utiliza da aplicação de um número de ferramentas e estratégias que auxiliam a simplificar todos os aspectos dos processos de negócios, por meio do ataque direto a cada tipo de perda originada pelos sistemas produtivos. (Aherne & Whelton, 2010) Hoshin Kanri: possibilita o gerenciamento das estratégias através dos distintos níveis da empresa e através das diferentes funções hierárquicas, possibilitando a união dos esforços de toda a organização para alcançar objetivos-chave para o negócio. (Ayala, 2010 Apud Witcher, Butterworth, 2001)
2. O lean influencia a Indústria 4.0	As tecnologias da Indústria 4.0 devem ser implantadas para reduzir desperdícios, ou seja, atuar nos indicadores de desempenho para obtenção de resultados eficazes	<i>CIM</i> (Computer Integrated Manufacturing) e <i>Lean Production</i> atuam como precursores da quarta revolução industrial. O <i>CIM</i> atua como controle e automação do processo produtivo, usando tecnologias de informação e comunicação. E o <i>lean</i> segue a sistemática de eliminação de desperdício nos processos produtivos, gerados pela sobrecarga ou por desigualdade na carga de trabalho. (Kirazli et Hormann, 2015)
3. A Indústria 4.0 suporta a estratégia	Há duas relações: i) A estratégia de operações da	O conceito indústria 4.0 (...) induz a modificações no

	organização deve ser considerada como premissa antes da aplicação de uma nova tecnologia, esta por sua vez pode necessitar de modificações. ii) De acordo com áreas de decisão se faz possível avaliar qual tecnologia melhor se adapta.	<i>framework</i> de operações, ligados a política e economia das empresas. São esses em particular: • Desenvolvimento em curtos períodos de inovação; • Individualização da demanda, que é determinada pelo cliente; • Flexibilidade no desenvolvimento de produtos; • Descentralização, para rápidas tomada de decisão; • Eficiência de recursos. (Kemper <i>et al</i> 2014)
4. A Indústria 4.0 suporta o lean	A tecnologia disponibilizada na Indústria 4.0 deve ser aplicada no sistema enxuto de produção de acordo com os objetivos que se devem ser satisfeitos por essa filosofia, ou seja, cada objetivo a ser alcançado pelo lean deve corresponder a uma tecnologia que permita essa possibilidade sem interferir nos princípios nem tampouco excluir a filosofia adotada.	Idem a citação da relação 2
5. O lean suporta a estratégia	Os princípios lean seguidos como sistema da empresa devem ser respeitados quando uma estratégia nova é submetida. A alta direção considera em sua filosofia as práticas adotadas como sistema de gestão das operações, deste modo se a empresa segue a cultura lean, a estratégia deve ser coerente	Idem a citação da relação 1

Fonte: A autora

Apresentado o alinhamento entre os temas da revisão da literatura, parte do primeiro objetivo específico fica concluído, o qual consiste em desenvolver um framework que integre lean e Indústria 4.0 em uma perspectiva da gestão estratégica de operações. O próximo capítulo apresenta o desenvolvimento em si do trabalho, com a proposta do framework inicial e análise via estudos de caso.

3. DESENVOLVIMENTO

Apenas para introduzir a empresa escolhida para análise dos estudos de caso, faz-se no próximo subcapítulo, a relação entre teoria apresentados na revisão da literatura com a realidade da indústria estudada.

3.1. Relacionando teoria com realidade da empresa atual

A Indústria 4.0 emerge para era digital e inteligente após anos de maturidade tecnológica e dos negócios e apesar dos inúmeros benefícios identificados é necessário considerar alguns pontos de atenção com a implementação da Indústria 4.0. O primeiro e principal deles, partindo do ponto de vista de que o principal conceito da I4 é a integração entre os sistemas produtivos e gerenciais, é ter o conhecimento de como os sistemas irão se comunicar e como estes irão comunicar-se com os produtos e com as pessoas, visto que por ser diversos sistemas cada qual tem sua particularidade. Logo, o primeiro ponto é ir em busca da forma de comunicação necessária a implementação. Segundo, disseminar a importância da veracidade das informações de entrada do sistema e a leitura que deve ser feita das informações de saída. Terceira, implementar módulos de gestão em cada fase do processo produtivo, considerando toda a cadeia de valor, a fim de monitorar todas as atividades pelas quais o produto deve passar, pois assim caso ocorra algum problema ou erro em alguma atividade facilita na coleta de informações.

3.1.1. Exemplificação de indicadores utilizados na indústria automotiva

Nesta etapa, constrói-se os principais indicadores lean utilizados na indústria automotiva, a partir de dados reais obtidos no estudo de caso. Os indicadores estão relacionados a estratégia de operações da organização, visto que o intuito da gestão engloba produzir a quantidade necessária, no tempo necessário, reduzindo custos, garantindo a qualidade e atendimento as expectativas do cliente.

No ramo automotivo, os indicadores são geralmente classificados em QCDP cujo significado é Qualidade, Custo, Entrega e Pessoas. Em cada grupo há um conjunto de KPIs controlados, os quais são direcionados para áreas afins conforme atividade realizada e gestão estratégica empresarial.

Todos os indicadores são expressos por responsabilidade das áreas, sendo: Análise, Engenharia, Carroceria, Pintura, Montagem e Modo Operatório. Estar à frente da concorrência é o reflexo positivo dos indicadores que denotam boa gestão da fábrica e suas operações, assim como o compromisso em não fazer e não vender defeitos. Para manter e até mesmo superar a

satisfação dos clientes, exige se cada vez mais a adoção de tecnologias que permitam aplicar o lean manufacturing de maneira integral.

A tabela 7, representa exemplos de indicadores praticados na empresa dos estudos de caso. As siglas não serão explicadas por motivos de confidencialidade.

Tabela 7: Exemplos de indicadores reais do setor automotivo

Grupo	Nome	Descrição
Qualidade	SAVES	Avalia número de defeitos por veículo por amostragem aleatória de 4 a 8 veículos, com foco na Qualidade Percebida.
	DPU	Avalia o número de defeitos por veículo em 100% da produção diária, por turno.
Custo	NSTR	Avalia o índice de veículos que demandaram tempo maior de 2 horas para retoque, ou seja, retoques mais difíceis e que geram custo.
	NRGU	Mede o não rendimento da Usina, ou seja, o número de veículos perdidos na produção por motivos de paradas.
Entrega	TCM	Tempo de atravessamento até o fim da Montagem. Após esse marco o veículo segue para planos de monitoramento e regulagens de Fábrica.
	SSAR	É o tempo que o veículo tem estipulado para ser vendido ao cliente, em um range de +- 2 horas. Significa respeito ao fluxo.
	MADC	Mede a quantidade de veículos que foram vendidos no tempo hábil.
Pessoas	FSSET	Conjunto de indicadores de Saúde, Segurança e Ergonomia dos colaboradores.
	HC	Número de efetivos por supervisão e equipe que pode medir a produtividade de cada gestão.

Fonte: A autora (2017)

3.1.2. Alinhamento entre indicadores lean: Literatura Vs Real

A fim de se obter um alinhamento entre os indicadores exemplificados no trabalho (Tabela 7) com a literatura (Figura 11), os mesmos foram relacionados as categorias apresentadas por Sánchez & Pérez (2001) para que no capítulo 4 o leitor possa relacionar o que está na literatura com a prática real através dos exemplos da empresa estudada. Tal relação está ilustrada na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8: Relação entre Indicadores lean da literatura e Indicadores lean praticados

<i>Categoria do indicador Lean</i>	<i>Indicador praticado</i>
Eliminação de atividades NVA	NRGU
Melhoria contínua	SAVES DPU
Equipes multifuncionais	NSTR HC
Produção e entrega JIT	SSAR MADC
Integração de fornecedores	TCM
Sistema de informação flexível	FSSET

Fonte: A autora (2017)

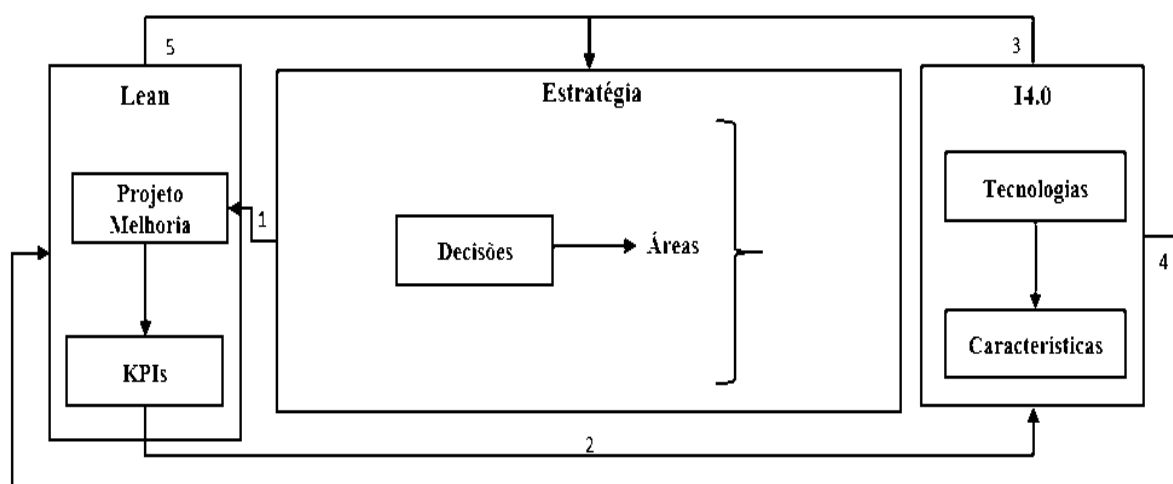
No próximo subcapítulo será elaborado o framework inicial a partir dos estudos realizados até agora.

3.2. Proposta de Framework

Para desenvolvimento do modelo, foram levados em conta aspectos que devem ser respeitados seguindo uma lógica de requisitos relacionados ao sistema de produção lean, gestão de operações da organização e objetivos das aplicações das tecnologias da Indústria 4.0.

As relações sustentadas na seção 2.3.5 anterior, conforme Tabela 7, foram representadas no framework ilustrado na Figura 12. Cada quadro maior engloba as características principais de cada tema: Lean, Estratégia; e I4.0.

Figura 12: Framework integrador proposto



Fonte: A autora (2017)

Abaixo, segue quadro explicando a construção lógica das relações do framework, no qual as setas indicam o sentido das relações acompanhadas dos números que seguem a ordem de raciocínio.

Quadro 2: Explicação das relações

Há uma estratégia de operação na empresa que demanda de um projeto lean [1] cujos indicadores atuais são os inputs na decisão de aplicação de tecnologias da I4.0 [2] cujas características são sustentadas através das áreas de decisão impactadas [3]. O projeto de melhoria é suportado pelas tecnologias para melhorar os indicadores [4] tais quais devem satisfazer a estratégia de operações [4] aos objetivos e estratégia é sustentada pela melhoria contínua conforme indicadores de desempenho [5]

Fonte: A autora (2017)

As relações foram avaliadas por meio de entrevistas com profissionais e experientes do ramo ‘lean manufacturing’. Foram coletados dados básicos: idade; graduação; conhecimentos em lean, indústria 4.0 e estratégia. A população da pesquisa consistiu em:

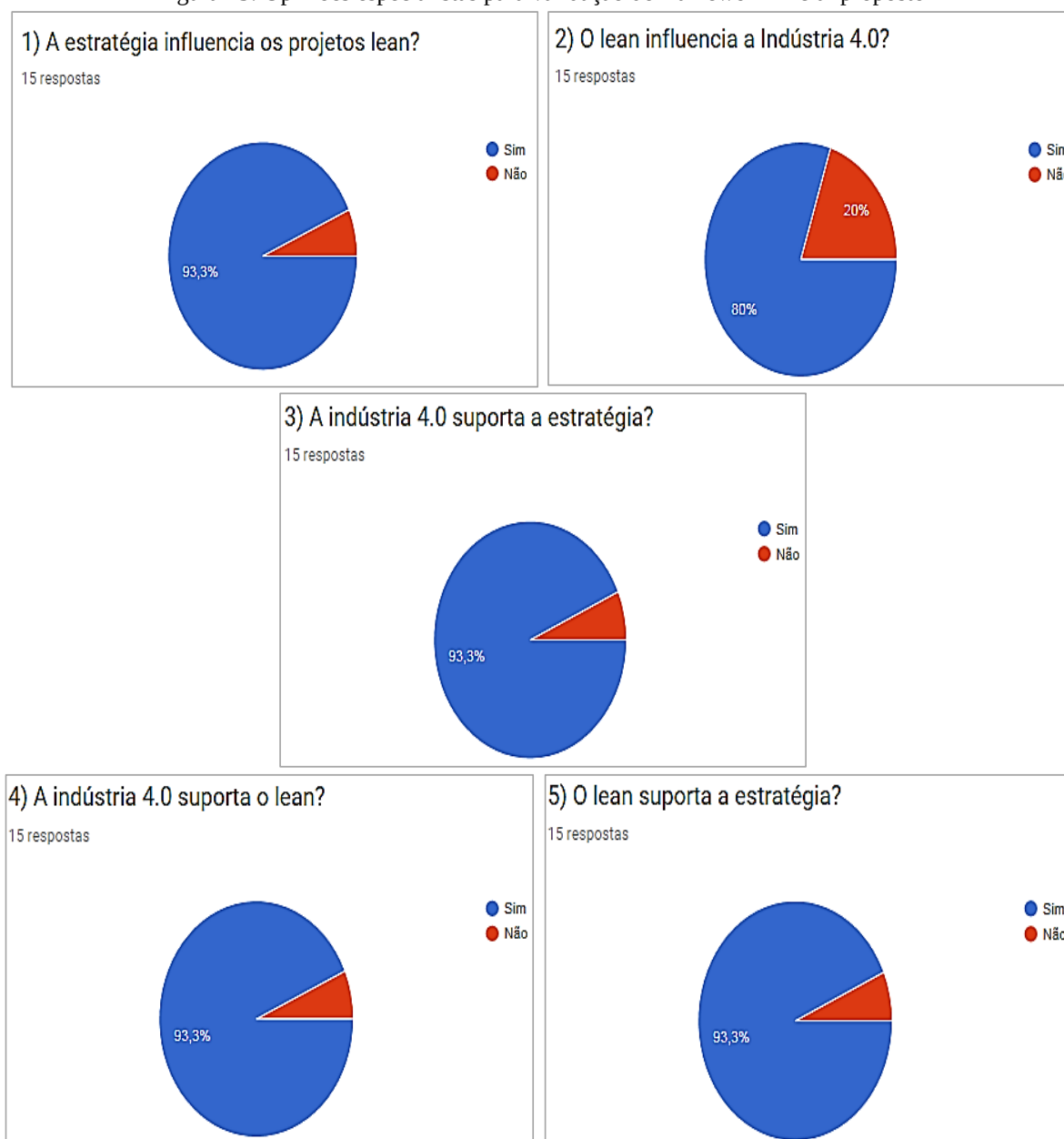
- Ramo: 15 profissionais da indústria, sendo 66,7% pertencentes ao ramo automotivo e 26% experientes em projetos lean;
- Formação: 46% com formação em Engenharia de Produção, 26% em Engenharia Elétrica e 13% formados em Administração;
- Idade: 46,7% com até 25 anos de idade, 33% com idade entre 26 e 35 anos e 20% com 36 ou mais.
- Conhecimento: 86% dos entrevistados têm domínio ou possuem certo conhecimento acerca dos temas Indústria 4.0 e Estratégia de Operações.

Foram elaboradas 5 perguntas de concordância das 5 relações propostas no framework, com as opções de resposta sim e não, sendo elas:

- 1) A estratégia influencia os projetos lean?
- 2) O lean influencia a Indústria 4.0?
- 3) A Indústria 4.0 suporta a estratégia?
- 4) A Indústria 4.0 suporta o lean?
- 5) O lean suporta a estratégia?

A Figura 13 ilustra as opiniões dos entrevistados, em formato gráfico, totalizando em no mínimo 80% de concordância dos profissionais para a segunda relação e 93% de concordância com as demais relações propostas pela autora, ou seja, as relações propostas são validadas.

Figura 13: Opiniões especialistas para validação do framework inicial proposto



Fonte: A autora (2017)

Abaixo, segue 2 comentários de entrevistados cujos nomes são fictícios por questões de confidencialidade:

“Concordo com a relação 2 pois além de reduzir desperdícios, a indústria 4.0 deve facilitar o trabalho do operador e atuar em conjunto não só com isso mas com qualidade e autonomia de processo. A tecnologia de forma alguma pode atrapalhar a realização das operações por parte dele. E tem que fazer sentido para ele o porquê daquela tecnologia ser implantada” (Maria, 31 anos, supervisora de performance no ramo automotivo).

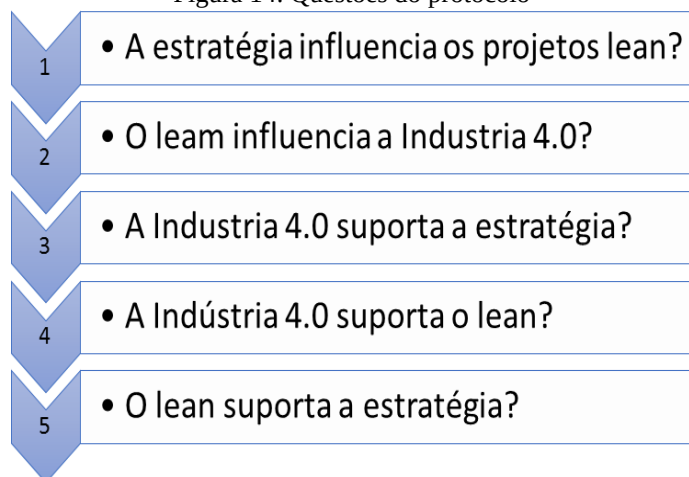
“A relação 4 é válida. Talvez não exista 1 tecnologia para cada ferramenta lean, mas muitas vezes 1 tecnologia em si pode atender a vários princípios, assim como pode acontecer de ter tecnologia que prejudica os princípios lean.” (José, 34 anos, supervisor de fabricação no ramo automotivo).

Conforme resultados da pesquisa, foi possível validar a proposta do framework inicial e seguir com o desenvolvimento do presente trabalho. Concluída essa etapa tem-se, portanto, a execução do primeiro objetivo específico: “Desenvolver um framework que integre lean e Indústria 4.0 em uma perspectiva da gestão estratégica de operações”. O próximo passo consiste na construção de um método de análise para seguir com os estudos de caso e responder ao segundo objetivo do trabalho.

3.3. Protocolo de Análise

A partir da revisão literatura dos temas indústria 4.0, lean e estratégia de operações e focado em tecnologias, indicadores de desempenho e áreas de decisão respectivamente, foi possível desenvolver um protocolo de análise das relações existentes no framework a fim de se analisar os dados dos estudos de caso e avaliar se o modelo proposto é válido.

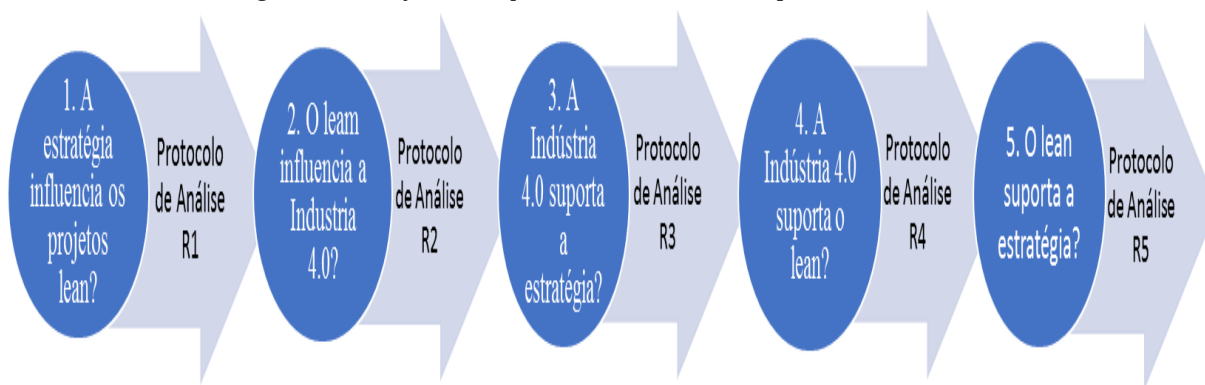
Figura 14: Questões do protocolo



Fonte: A autora (2017)

Para avaliação dos estudos de casos, cada questão será respondida através da análise de um protocolo respectivo, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15: Relação entre questões do framework e protocolo de análise



Fonte: A autora (2017)

Os protocolos foram propostos com base nos temas chave apresentados na revisão literatura, ao se relacionar informações que servem como referência literária de cada tema. Abaixo segue lista do tema abordado e seu respectivo indicador que servirá de referência nos protocolos de análise ao cruzar as informações para análise:

- Estratégia de Operações: Áreas de decisão;
- Lean Manufacturing: Categoria do indicadores lean;
- Indústria 4.0: Tecnologias da Indústria 4.0.

Cada questão representada pela relação do framework deve ser respondida através da extração das informações do estudo de caso e descritas dentro das matrizes do protocolo. Ou seja, a questão 01: “*A estratégia influencia os projetos lean?*” deve ser satisfeita através do Protocolo de Análise da relação 01 (PA-R1). Caso haja no mínimo uma relação na matriz do PA-R1 comprovada no estudo de caso, a questão 01 é satisfeita para o framework e assim por diante com todas as relações e respectivos protocolos de análises.

3.3.1. Protocolo de Análise - Relação 01

A questão a ser respondida nesta etapa é: A estratégia influencia os projetos lean?

Para construção desse protocolo, os temas abordados são estratégia e lean. A partir da revisão da literatura, foi construída uma matriz que relacione esses dois temas, sendo ‘categoria do indicador lean’ no eixo y e ‘Áreas de decisão’ no eixo x. As intersecções entre os eixos denominadas e tachadas em cor, com base na literatura, mostram as relações possíveis existentes entre os 2 temas, o que traduz numa relação mútua.

Exemplificando, a relação A1 é traduzida como: a estratégia de capacidade da empresa está associada a um indicador lean de eliminação de desperdícios ou atividades que não agregam valor. A matriz 1 ilustra o Protocolo de Análise - Relação 01 (PA-R1 genérico).

Matriz 1: PA-R1 genérico

			Áreas de decisão			
			Estratégia de capacidade	Rede de suprimentos	Tecnologia de processo	Desenvolvimento e organização
Categoria do indicador lean	Eliminação de atividades NVA	1	A1			
	Melhoria contínua	2	A2	B2	C2	D2
	Equipes multifuncionais	3				D3
	Produção e entrega JIT	4		B4	C4	
	Integração de fornecedores	5		B5		
	Sistema de informação flexível	6				D6

Fonte: A autora (2017)

3.3.2. Protocolo de Análise - Relação 02

A questão a ser respondida nesta etapa é: O lean influencia a Indústria 4.0?

Para construção desse protocolo, os temas abordados são lean e indústria 4.0. A partir da revisão da literatura, foi construída uma matriz que relacione esses dois temas, sendo ‘tecnologias da indústria 4.0 no eixo y e categoria do indicador lean’ no eixo x. As intersecções entre os eixos denominadas e tachadas em cor, com base na literatura, mostram as relações possíveis existentes entre os 2 temas, o que traduz numa relação mútua.

Exemplificando, a relação E1 é traduzida como: a tecnologia da automação está associada a um indicador lean de eliminação de desperdícios ou atividades que não agregam valor. A matriz 2 ilustra o Protocolo de Análise - Relação 02 (PA-R2 genérico).

Matriz 2: PA-R2 genérico

		Categoria lean do indicador						
		Eliminação de atividades NVA	Melhoria contínua	Equipes multifuncionais	Produção e entrega JIT	Integração de fornecedores	Sistema de informação flexível	
		y \ x	e	f	g	h	i	j
Tecnologias da Indústria 4.0	Automação	1	E1			H1		J1
	Simulação	2	E2	F2				
	Integração horizontal e vertical do sistema	3						J3
	Internet das coisas (IoT)	4	E4	F4		H4		
	Segurança cibernética	5						J5
	A nuvem	6				J6		J6
	Manufatura aditiva	7		F7		H7	I7	
	Realidade aumentada	8		F8	G8			
	Biq data e análises	9				H9	I9	J9

Fonte: A autora (2017)

3.3.3. Protocolo de Análise - Relação 03

A questão a ser respondida nesta etapa é: A Indústria 4.0 suporta a estratégia?

Para construção desse protocolo, os temas abordados são indústria 4.0 e estratégia. A partir da revisão da literatura, foi construída uma matriz que relacione esses dois temas, sendo ‘tecnologias da indústria 4.0 no eixo y e ‘áreas de decisão’ no eixo x. As intersecções entre os eixos denominadas e tachadas em cor, com base na literatura, mostram as relações possíveis existentes entre os 2 temas, o que traduz numa relação mútua.

Exemplificando, a relação K1 é traduzida como: a tecnologia da automação está associada a decisão estratégica de capacidade da empresa, através da versatilidade em produção de mixes de maneira automática mais eficiente, por exemplo. A matriz 3 ilustra o Protocolo de Análise - Relação 03 (PA-R3 genérico).

Matriz 3: PA-R3 genérica

			Áreas de decisão			
			Estratégia de capacidade	Rede de suprimentos	Tecnologia de processo	Desenvolvimento e organização
			k	l	m	n
Tecnologias da Indústria 4.0	Automação	1	K1		M1	N1
	Simulação	2	K2		M2	
	Integração horizontal e vertical do sistema	3				N3
	Internet das coisas (<i>IoT</i>)	4	K4		M4	
	Segurança cibernética	5				N5
	A nuvem	6		L6		N6
	Manufatura aditiva	7	K7	L7	M7	
	Realidade aumentada	8				N8
	<i>Big data</i> e análises	9		L9		N9

Fonte: A autora (2017)

3.3.4. Protocolo de Análise - Relação 04

A questão a ser respondida nesta etapa é: A Indústria 4.0 suporta o lean? Observa-se que esta é a mesma matriz do protocolo 2 isto serem relações mútuas entre si, deste modo se a Relação 2 é satisfeita, obrigatoriamente é satisfeita a relação 04. Portanto, no estudo de caso, ao analisar o protocolo de análise 2, também se é avaliado o protocolo de análise 4.

Matriz 4: PA-R4 genérica

			Categoria lean do indicador					
			Eliminação de atividades NVA	Melhoria contínua	Equipes multifuncionais	Produção e entrega JIT	Integração de fornecedores	Sistema de informação flexível
			e	f	g	h	i	j
Tecnologias da Indústria 4.0	Automação	1	E1			H1		J1
	Simulação	2	E2	F2				
	Integração horizontal e vertical do sistema	3						J3
	Internet das coisas (IoT)	4	E4	F4		H4		
	Segurança cibernética	5						J5
	A nuvem	6				J6		J6
	Manufatura aditiva	7		F7		H7	I7	
	Realidade aumentada	8		F8	G8			
	Big data e análises	9				H9	I9	J9

Fonte: Autora (2017)

3.3.5. Protocolo de Análise - Relação 05

A questão a ser respondida nesta etapa é: O lean suporta a estratégia? Observa-se que esta é a mesma matriz do protocolo 1 visto serem relações mútuas entre si, deste modo se a Relação 1 é satisfeita, obrigatoriamente é satisfeita a relação 05. Portanto, no estudo de caso, ao analisar o protocolo de análise 1, também se é avaliado o protocolo de análise 5.

Matriz 5: PA-R5 genérico

			Áreas de decisão			
			Estratégia de capacidade	Rede de suprimentos	Tecnologia de processo	Desenvolvimento e organização
			a	b	c	d
Categoria do indicador lean	Eliminação de atividades NVA	1	A1			
	Melhoria contínua	2	A2	B2	C2	D2
	Equipes multifuncionais	3				D3
	Produção e entrega JIT	4		B4	C4	
	Integração de fornecedores	5		B5		
	Sistema de informação flexível	6				D6

Fonte: A autora (2017)

Com o desenvolvimento do método ou protocolo de análise, foi possível concluir ao 2º objetivo específico deste trabalho. Agora será possível avaliar se o framework proposto é válido a partir da análise dos estudos de caso através do protocolo de análise, o qual foi dividido nas 5 matrizes apresentadas no presente capítulo, seguindo a ordem lógicas das relações. Cada matriz será utilizada na extração de informações dos estudos de caso e as explicações serão transcritas nas relações que satisfazem as relações através dos estudos de caso do capítulo 4 na sequência.

4. ESTUDO DE CASOS EXPLORATÓRIOS

4.1. Introdução aos casos escolhidos e método de análise

Para realização dos estudos de caso foi escolhido uma empresa fabricante de veículos utilitários e de passeio localizada na região Sul do Brasil. O sistema de produção opera conforme filosofia do lean manufacturing, ou seja, produção puxada.

Foram analisados 3 estudos de casos cujos projetos de integração de tecnologias foram de fato implementados, sob demanda estratégica da organização. São eles: i) Almoxarifado Digital; ii) IOT de apoio à Manutenção; e iii) Manufatura Digital.

Cada estudo será analisado por meio dos protocolos desenvolvidos pela autora no capítulo anterior para avaliar se as relações do framework são confirmadas. Cada relação ilustrada nas Figuras 14 e 15 deve ser respondida com busca das informações a serem comprovadas em cada protocolo respectivo e no final será realizada uma prova real por meio de conferência dos parâmetros dominantes na Tabela Integradora (Tabela 5). A Tabela 9 ilustra o passo a passo da metodologia de análise dos estudos de caso.

Tabela 9: Metodologia de análise dos estudos de caso

Etapa		Descrição
1	Contexto	Resumo do objetivo da inserção da tecnologia na empresa analisada
2	Resumo da obra	Resumo da obra do estudo de caso aplicado
3	Protocolo de Análise das Relações 1 e 5	Análise das relações 1 e 5 'A estratégia influencia os projetos lean' e 'O lean suporta a estratégia' através dos protocolos PA-R1 e PA-R5 respectivamente, que possuem a mesma matriz de análise, por meio de rastreabilidade de informações da obra do estudo de caso
4	Protocolo de Análise das Relações 2 e 4	Análise das relações 2 e 4 'O lean influencia a Indústria 4.0' e 'A Indústria 4.0 suporta o lean' através dos protocolos PA-R2 e PA-R4 respectivamente, que possuem a mesma matriz de análise, por meio de rastreabilidade de informações da obra do estudo de caso
5	Protocolo de Análise da Relação 03	Análise da relação 3 'A Indústria 4.0 suporta a estratégia' através do 3º protocolo PA-R2 por meio de rastreabilidade de informações da obra do estudo de caso
6	Prova real	Check dos resultados obtidos em uma tabela resumo nas matrizes através do confronto na Tabela Integradora (tabela 6). Caso os resultados façam parte de 50% ou mais da frequência dos parâmetros na

		Tabela Integradora, o resultado é validado como positivo, ou seja, framework é eficaz.
--	--	--

Fonte: A autora (2017)

Através do passo a passo acima é possível seguir um padrão nas análises dos estudos de caso, podendo ao final chegar em um resultado confiável ao se avaliar o framework inicial proposto. Nos próximos sub-capítulos serão apresentados os três estudos de caso, abrangendo o contexto e resumo da obra de cada projeto, seguido de suas respectivas análises e resultados obtidos.

4.2. Almoxarifado Digital

4.2.1. Contexto do estudo de caso número 1

Em um universo de ampla concorrência mercadológica a tecnologia é uma das vertentes mais utilizadas para auxiliar as organizações a se destacarem em seu ambiente e a manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D é uma das mais populares tecnologias da Indústria 4.0. Existem diversos tipos de impressoras 3D cada uma com um grupo de características distintos e devido a essa grande matriz se faz necessário encontrar um método de decisão.

O departamento de TI da empresa do estudo de caso viu a manufatura aditiva como oportunidades de redução de custos por meio da inovação com aplicação no almoxarifado, local onde são armazenados diversos tipos de insumos utilizados na produção de veículos, tais como ferramentas, materiais de apoio a produção, gabaritos, equipamentos de segurança e consumíveis. Um dos objetivos era reduzir o tempo de recebimento de peças encomendadas de fornecedores que ocupam espaço no local e tem pouca demanda pela Fabricação, por exemplo.

A ideia foi comprada pela alta gestão e houve um investimento inicial com 1 impressora 3D para ensaios iniciais e lançamentos de projetos. A partir da instalação dos equipamentos, porém, surgiram questões como: “O que vamos imprimir? ”; “Quais peças da produção podem ser impressas? ”; “Quais peças do almoxarifado digital têm potencial para serem produzidas através da impressão 3D? ”; “Qual tecnologia da manufatura aditiva devo utilizar para determinado tipo de matéria prima? ”; “Qual tecnologia da manufatura aditiva utilizo para reduzir custos e manter a qualidade na impressão de determinado material? ”.

Para responder a essas perguntas, foi criado o projeto do Almoxarifado Digital, intitulado *Modelo de tomada de decisão para a produção de peças MRO – um estudo de caso*

em uma indústria do setor automotivo, de autoria de Nairana Disner (2017), que teve, portanto, como objetivo desenvolver um modelo que permita selecionar peças de apoio a produção a serem impressas e com quais tecnologias de manufatura aditiva é mais adequado a sua produção.

Foram consideradas peças de transformação na cadeia de suprimentos, mais precisamente peças de manutenção, reparo e operação (MRO). Disner (2017) cita Murray (2016), ao dizer que “peças MRO são usadas na produção e manutenção da planta e podem ser itens como suprimentos de manutenção, peças de reposição e consumíveis usados no processo de produção. Ou seja, peças que não fazem parte do produto final, mas são de extrema importância para a fabricação do mesmo”. Encaixam-se nessa definição peças como gabaritos, suportes, peças de proteção para equipamentos, bicos ou ferramentas acopladas aos equipamentos, dentre outras. O estoque desses materiais é necessário, pois são eles que garantem que as linhas de produção não parem de produzir devido a falhas em máquinas ou falta de materiais de consumo. Porém, a gestão desse tipo de estoque é muitas vezes dificultada pela grande quantidade de itens, por demandas pequenas e esporádicas no tempo, mas com custo elevado (Disner, 2017 cita Oliveira, 2013 e Povia, 2013).

Para realizar esse projeto foi realizado um estudo da literatura sobre as tecnologias da manufatura aditiva existentes e os modelos de tomada de decisão; estudo dos casos exploratórios realizados com peças de apoio a produção dos veículos, seguido da criação, aplicação e avaliação do modelo.

4.2.2. Resumo da obra

O trabalho intitulado *Modelo de tomada de decisão para a produção de peças MRO – um estudo de caso em uma indústria do setor automotivo*, de autoria de Nairana Disner (2017), considerou a transformação na cadeia de suprimentos de peças de manutenção, reparo e operação (MRO) para desenvolver um modelo que permitisse selecionar os componentes MRO e as tecnologias de manufatura aditiva (MA) mais adequadas para produção desses itens.

Todas as peças do case foram produzidas em uma impressora 3D com a tecnologia FDM, a qual fica no laboratório dessa organização.

Para a seleção dos casos levou-se em consideração os seguintes critérios:

- Peças de plástico;
- Tamanho da peça: 20x30x40 cm ou maior se houvesse a possibilidade de particionar; e
- Demanda: até 200 unidades por mês. Cálculo realizado por especialistas da montadora, considerando a demanda de impressões que já existia no laboratório.

Acrescenta-se ao leitor que em entrevista com a autora da obra citada, este “foi um dos trabalhos para verificar se seria viável utilizar a MA na empresa, mas não foram considerados integração lean e estratégia para decidir a viabilidade da tecnologia, a premissa inicial foi a redução de custos”.

Na seção a seguir a aplicação da manufatura aditiva será avaliada por meio dos protocolos de análise para validação do framework proposto.

4.2.3. Protocolo de Análise da Relação 01 – Estudo de caso 1

Para responder a questão “A estratégia influencia os projetos lean?” foram extraídas informações relacionadas as motivações de utilização da MA:

Disner 2017 cita Murray (2016) ao dizer que peças MRO são usadas na produção e manutenção da planta e podem ser itens como suprimentos de manutenção, peças de reposição e consumíveis usados no processo de produção. Ou seja, peças que não fazem parte do produto final, mas são de extrema importância para a fabricação do mesmo. Encaixam-se nessa definição peças como gabaritos, suportes, peças de proteção para equipamentos, bicos ou ferramentas acopladas aos equipamentos, dentre outras. O estoque desses materiais é necessário, pois são eles que garantem que as linhas de produção não parem de produzir devido a falhas em máquinas ou falta de materiais de consumo. Porém, a gestão desse tipo de estoque é muitas vezes dificultada pela grande quantidade de itens, por demandas pequenas e esporádicas no tempo, mas com custo elevado (Disner 2017 cita Oliveira&Pova 2013).

Conforme trecho acima, os indicadores/áreas de decisão impactados são:

- Produção e entrega JIT/Rede de suprimento: “garantem que as linhas de produção não parem de produzir”;
- Necessidade de integração de fornecedor/Rede de suprimento: “demandas pequenas e esporádicas no tempo, mas com custo elevado”

As relações acima serão ilustradas na matriz genérica para avaliar se compreendem o universo proposto, como resultado na Matriz 6.

Matriz 6: PA-R1 e PA-R5 Estudo de caso número 1

			Áreas de decisão			
			Estratégia de capacidade	Rede de suprimentos	Tecnologia de processo	Desenvolvimento e organização
Categoria do indicador lean	Eliminação de atividades NVA	1	A1			
	Melhoria contínua	2	A2	B2	C2	D2
	Equipes multifuncionais	3				D3
	Produção e entrega JIT	4		B4	C4	
	Integração de fornecedores	5		B5		
	Sistema de informação flexível	6				D6

Fonte: A autora (2017)

Observa-se que as relações encontradas satisfazem o protocolo em B4 e B5, validando a escolha da tecnologia nesta primeira etapa e consequentemente, relação do framework. Como mencionado na seção 3, se a relação 1 é satisfeita, obrigatoriamente é satisfeita a relação 05.

4.2.4. Protocolo de Análise Relação 02 – Estudo de caso 1

A questão a ser respondida nesta etapa é: O lean influencia a Indústria 4.0? Para isso foram analisadas informações relacionadas ao objetivo do trabalho:

(...) se faz necessário selecionar quais os principais pontos que devem ser observados na eleição de uma tecnologia de MA e entender melhor cada tecnologia para que esta seja a que irá melhor atender as necessidades e gerar o resultado que se espera. (...) é importante destacar de forma detalhada as principais características das tecnologias de MA, para então discernir quais tecnologias são mais adequadas para a produção de cada peça (Disner 2017).

Conforme texto acima, já sabendo que a tecnologia adotada é manufatura aditiva, extrai-se a categoria de indicador:

- Melhoria contínua: “discernir quais tecnologias são mais adequadas para a produção de cada peça”;

A relação acima será ilustrada na matriz genérica para avaliar se compreendem o universo proposto, como resultado na Matriz 7.

Matriz 7: PA-R2 Estudo de caso número 1

			Categoria lean do indicador					
			Eliminação de atividades NVA	Melhoria contínua	Equipes multifuncionais	Produção e entrega JIT	Integração de fornecedores	Sistema de informação flexível
			E	F	G	H	I	J
Tecnologias da Indústria 4.0	Automação	1	E1			H1		J1
	Simulação	2	E2	F2				
	Integração horizontal e vertical do sistema	3						J3
	O desenvolvimento da Indústria da Internet das coisas	4	E4	F4		H4		
	Segurança cibernética	5						J5
	A nuvem	6				J6		J6
	Aditivos da manufatura	7		F7		H7	I7	
	Realidade aumentada	8		F8	G8			
	Big data e análises	9				H9	I9	J9

Fonte: A autora (2017)

A relação encontrada satisfaz o protocolo em F7, validando a escolha da tecnologia na segunda relação do framework. Como mencionado na seção 3, se a relação 2 é satisfeita, obrigatoriamente é satisfeita a relação 04.

4.2.5. Protocolo de Análise da Relação 03 – Estudo de caso 1

Para responder à questão “A Indústria 4.0 suporta a estratégia? ”, foram verificadas informações relacionadas as motivações estratégicas para utilização da MA:

Disner 2017 cita Cotteleer e Joyce (2014) que elaboraram as principais características, relatadas pelos autores dos caminhos estratégico que as empresas podem seguir considerando o valor para os negócios:

- Caminho I: as empresas não procuram alterações radicais em quaisquer cadeias de fornecedores ou produtos, mas podem explorar tecnologias de MA para melhorar a entrega de valor para os produtos atuais dentro cadeias de abastecimento existentes.
- Caminho II: as empresas tiram proveito da economia de escala oferecida pela MA como um facilitador potencial de transformação da cadeia de abastecimento para os produtos que oferecem.

- Caminho III: as empresas tiram vantagem da economia de escopo oferecida pelas tecnologias MA para alcançar novos níveis de desempenho ou de inovação nos produtos que oferecem.
- Caminho IV: as empresas alteram ambas as cadeias de fornecimento e produtos na busca de novos modelos de negócios.

De acordo com o trecho acima, já sabendo que a tecnologia adotada é manufatura aditiva, extrai-se referente as áreas de decisão:

- Tecnologia de processo: “podem explorar tecnologias de MA para melhorar a entrega de valor para os produtos atuais”;
- Desenvolvimento e organização: “vantagem da economia de escopo oferecida pelas tecnologias MA para alcançar novos níveis de desempenho ou de inovação”;
- Rede de suprimentos: “facilitador potencial de transformação da cadeia de abastecimento”;
- Rede de suprimentos: “as empresas alteram ambas as cadeias de fornecimento e produtos na busca de novos modelos de negócios”.

A relação acima será ilustrada na matriz genérica para avaliar se compreendem o universo proposto, como resultado na Matriz 8.

Matriz 8: PA-R3 Estudo de caso número 1

			Áreas de decisão			
			Estratégia de capacidade	Rede de suprimentos	Tecnologia de processo	Desenvolvimento e organização
			K	L	M	N
Tecnologias da Indústria 4.0	Automação	1	K1		M1	N1
	Simulação	2	K2		M2	
	Integração horizontal e vertical do sistema	3				N3
	O desenvolvimento da Indústria da Internet das coisas (<i>IoT</i>)	4	K4		M4	
	Segurança cibernética	5				N5
	A nuvem	6		L6		N6
	Aditivos da manufatura	7	K7	L7	M7	
	Realidade aumentada	8				N8
	Big data e análises	9		L9		N9

Fonte: A autora (2017)

Observa-se que mesmo aparecendo uma relação que não foi considerada no protocolo genérico, existem outras 2 relações encontradas que satisfazem o protocolo em L7 e M7, validando, portanto, a escolha da tecnologia nesta terceira relação do framework.

4.2.6. Prova Real – Estudo de caso 1

Através da identificação dos parâmetros identificados nas matrizes 6, 7 e 8 e busca dos mesmos na Tabela 5, será possível avaliar se a tecnologia adotada satisfaz as características de alinhamento entre lean, indústria 4.0 e estratégia de operações. Os resumos dos resultados dos protocolos de análise estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10: Resumo de resultados do protocolo de análise do estudo de caso 1

Protocolo	Categoria do Indicador	Área de decisão
PA-R1	Produção e entrega JIT	Rede de suprimento
	Necessidade de integração de fornecedor	Rede de suprimento
PA-R2	Melhoria contínua	
PA-R3		Tecnologia de Processo
		Desenvolvimento e Organização

Fonte: A autora (2017)

Ao procurar tais parâmetros na Tabela Integradora (Tabela 5) podemos comprovar que a tecnologia Manufatura Aditiva se sobressai frente as demais ao considerarmos a frequência dos parâmetros selecionados maior ou igual a 50%, conforme ilustrado na Tabela 11.

Tabela 11: Prova real do Estudo de Caso 1

Benefícios I4.0	Tecnologias correspondentes I4.0	Áreas de Decisão	Categoria do indicadores lean
Capacidade de atendimento em tempo real	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT
	Manufatura aditiva	Estratégia de capacidade Rede de suprimentos Tecnologia de processo	Integração de fornecedores Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT
Segurança	Segurança cibernética	Desenvolvimento e organização	Integração de fornecedores
	Big data e análises	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Networking	Realidade aumentada	Desenvolvimento e organização	Melhoria contínua Equipes multifuncionais
	Big data e análises	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Produzir em escala	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
Transparência	A nuvem	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
Flexibilidade	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Manufatura aditiva	Estratégia de capacidade Rede de suprimentos Tecnologia de processo	Melhoria contínua Produção e entrega JIT Integração de fornecedores
	Realidade aumentada	Desenvolvimento e organização	Melhoria contínua Equipes multifuncionais
Produção modular	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
Descentralização	Integração horizontal e vertical do sistema	Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Autonomia	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Simulação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo Desenvolvimento e organização	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua
	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
Redução de desperdícios	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
	Simulação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo Desenvolvimento e organização	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT

Fonte: A autora (2017)

Conclui-se, portanto, que a tecnologia escolhida no estudo de caso 1 é validada pelo framework proposto, visto ter 100% das 5 relações satisfeitas e comprovadas através da prova real. O próximo subcapítulo apresentará a análise do segundo estudo de caso.

4.3. IOT de apoio à Manutenção

4.3.1. Contexto do estudo de caso número 2

Em uma linha com mais de 90% de automatização como a Estamparia, o desperdício causado pelas paradas de máquinas é um dos grandes vilões da empresa. São gastas inúmeras horas e recursos financeiros e de mão de obra com reparos e ajustes muitas vezes emergenciais para que a fábrica consiga atingir o volume, mas mesmo com todos os esforços, não dá para garantir sustentabilidade das ações realizadas.

Ao se falar em manutenção sabe-se que existe a preventiva, a qual se utiliza de intervenções programadas; a corretiva, que é necessária quando ocorre uma emergência; e a preditiva que é a mais eficaz de todas por se antecipar a problemas e economizar recursos, sendo também a mais almejada e mais difícil de se realizar.

A fábrica da Estamparia tem índices altos de manutenções corretivas, o que está impactando negativamente no não atendimento a demanda e também em não qualidade da fabricação. O desbalanceamento em um maquinário, por exemplo, causa passagem de ranhuras causando falhas elétricas o que causa danos graves as máquinas desde falhas até mesmo quebras de componentes ocasionando paradas de linha e consequentemente perda de produção.

A equipe de manutenção é então acionada e leva-se um tempo até a recuperação e retorno das operações, o que demanda recursos não planejados e muitas vezes impactos em budgets não previstos causando quebras dos orçamentos, utilização de estoque de segurança, acionamento de fornecedores ou terceirizados especialistas, entre outros.

Devido a esses problemas foi necessário desenvolver um sistema que permitisse melhorar os indicadores de performance das máquinas e robôs, de maneira que pudessem ser determinadas quando uma manutenção deveria ser realizada sem risco de parada antes desse tempo, garantindo o menor custo de intervenção.

Tal projeto teve início com um case de aplicação de IoT em uma máquina de usinagem do setor. Na próxima seção serão apresentadas mais informações da obra estudada como o 2º estudo de caso deste trabalho.

4.3.2. Resumo da obra

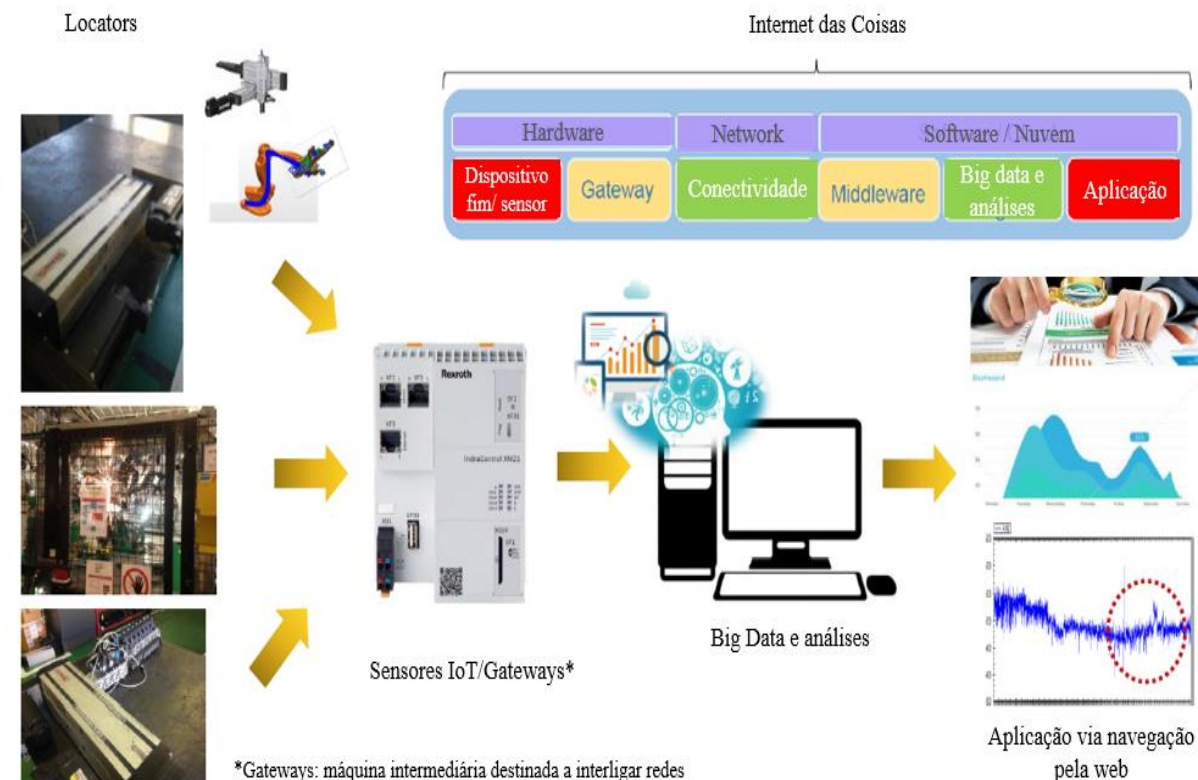
O trabalho intitulado *Prova de concepção – Manutenção preditiva* de autoria do Gabriel Cordeiro (2017) teve como objetivo aplicar a tecnologia da Internet da Coisas (IoT) em um equipamento para auxiliar a equipe de manutenção.

“A motivação veio devido ao excesso de fricção e falhas no equipamento causados por resíduos de soldagem e corrosão, cujo problema também é enfrentado em outras fábricas do grupo. São gastas 288 horas para manutenção preventiva e corretiva para todos os 44 locators (equipamentos acoplados ao robô que garante o posicionamento geométrico das operações) a cada ano, na maioria das vezes sem saber o motivo da intervenção. A prova de concepção (POC) visou reunir e analisar dados gerados a partir de equipamentos, para ajudar o time de manutenção a tomar decisões sobre quando realizar manutenções” (Cordeiro, 2017).

Foram coletadas 12 medidas com o motor desbalanceado, com objetivo de verificar se a solução de preditiva é capaz de identificar cenários de falha e o cenário de desbalanceamento foi criado a partir da retirada de um dos oito parafusos do eixo de acoplamento. Às 02h11min, entretanto, foi identificado um alarme com relação a falha elétrica. Se a condição de desbalanceamento se mantivesse, poderia causar queima elétrica no motor.

Durante os testes, a plataforma foi capaz de identificar desvios nos padrões de balanceamento e eletricidade por meio de sensores acoplados ao funcionamento do motor, ou seja, a máquina pode informar que seria necessária uma intervenção para não ter o risco de falha ou defeito.

Figura 16: Solução da POC de Manutenção Preditiva



Fonte: Traduzido de Cordeiro (2017)

4.3.3. Protocolo de Análise da Relação 01 – Estudo de caso 2

Para responder à questão “A estratégia influencia os projetos lean?” foram extraídas informações relacionadas ao objetivo do trabalho descrito na seção 4.3.1. Os indicadores/áreas de decisão impactados são:

- Melhoria contínua/Tecnologia de processo: Conforme ilustrado na Figura 15 é possível verificar a integração da tecnologia IoT no equipamento.
- Melhoria contínua/Desenvolvimento e organização: “A motivação veio devido ao excesso de fricção e falhas no equipamento causados por resíduos de soldagem e corrosão, cujo problema também é enfrentado em outras fábricas do grupo”.

As relações acima serão ilustradas na matriz genérica para avaliar se compreendem o universo proposto, como resultado na Matriz 9.

Matriz 9: PA-R1 e PA-R5 Estudo de caso número 2

			Áreas de decisão			
			Estratégia de capacidade	Rede de suprimentos	Tecnologia de processo	Desenvolvimento e organização
Categoria do indicador lean	Eliminação de atividades NVA	1	A1			
	Melhoria contínua	2	A2	B2	C2	D2
	Equipes multifuncionais	3				D3
	Produção e entrega JIT	4		B4	C4	
	Integração de fornecedores	5		B5		
	Sistema de informação flexível	6				D6

Fonte: A autora (2017)

Observa-se que as relações encontradas satisfazem o protocolo em C2 e D2, validando a escolha da tecnologia nesta primeira etapa e consequentemente, relação do framework. Como mencionado na seção 3, se a relação 1 é satisfeita, obrigatoriamente é satisfeita a relação 05.

4.3.4. Protocolo de Análise Relação 02 – Estudo de caso 2

A questão a ser respondida nesta etapa é: O lean influencia a Indústria 4.0? Para isso foram analisadas informações relacionadas aos motivos de aplicar a tecnologia e também riscos quando a máquina fica aguardando reparo, o que resulta em indicadores das categorias:

- Eliminação de atividades NVA: Com as paradas do equipamento até que sejam realizadas intervenções pela manutenção, é possível que haja produção de defeitos, retrabalhos e até mesmo espera.
- Melhoria contínua: “São gastas 288 horas para manutenção preventiva e corretiva para todos os 44 *locators*”

As relações acima serão ilustradas na matriz genérica para avaliar se compreendem o universo proposto, como resultado na Matriz 10.

Matriz 10: PA-R2 e PA-R4 Estudo de caso número 2

			Categoria lean do indicador					
			Eliminação de atividades NVA	Melhoria contínua	Equipes multifuncionais	Produção e entrega JIT	Integração de fornecedores	Sistema de informação flexível
		y \ x	e	f	g	h	i	j
Tecnologias da Indústria 4.0	Automação	1	E1			H1		J1
	Simulação	2	E2	F2				
	Integração horizontal e vertical do sistema	3						J3
	Internet das coisas (IoT)	4	E4	F4		H4		
	Segurança cibernética	5						J5
	A nuvem	6				J6		J6
	Manufatura aditiva	7		F7		H7	I7	
	Realidade aumentada	8		F8	G8			
	Big data e análises	9				H9	I9	J9

Fonte: A autora (2017)

A relação encontrada satisfaz o protocolo em E4 e F4, validando a escolha da tecnologia na segunda relação do framework. Como mencionado na seção 3, se a relação 2 é satisfeita, obrigatoriamente é satisfeita a relação 04.

4.3.5. Protocolo de Análise da Relação 03 – Estudo de caso 2

Para responder à questão “A Indústria 4.0 suporta a estratégia? ”, foram extraídas informações da Figura 15 referentes a IoT, Nuvem e Big data e análises, o que resultou em 2 áreas de decisão:

- Tecnologia de processo: Conforme ilustrado na Figura 15, o equipamento tornou-se mais “inteligente” por conta da tecnologia da I4.0 integrada.
- Desenvolvimento e organização: A tecnologia permite o desenvolvimento de boas práticas em busca da melhoria contínua.

A relação acima será ilustrada na matriz genérica para avaliar se compreendem o universo proposto, como resultado na Matriz 11.

Matriz 11: PA-R3 Estudo de caso número 2

			Áreas de decisão			
			Estratégia de capacidade	Rede de suprimentos	Tecnologia de processo	Desenvolvimento e organização
			k	l	m	n
Tecnologias da Indústria 4.0	Automação	1	K1		M1	N1
	Simulação	2	K2		M2	
	Integração horizontal e vertical do sistema	3				N3
	Internet das coisas (IoT)	4	K4		M4	
	Segurança cibernética	5				N5
	A nuvem	6		L6		N6
	Manufatura aditiva	7	K7	L7	M7	
	Realidade aumentada	8				N8
	Big data e análises	9		L9		N9

Fonte: A autora (2017)

Observa-se apareceram também as tecnologias “A nuvem” e “Big data e análises” pois fazem parte da IoT, as quais satisfazem o protocolo em M4, N6 e N9, validando, portanto, a escolha da tecnologia nesta terceira relação do framework.

4.3.6. Prova Real – Estudo de caso 2

Através da identificação dos parâmetros identificados nas matrizes 9, 10 e 11 e busca dos mesmos na Tabela 5, será possível avaliar se a tecnologia adotada satisfaz as características de alinhamento entre lean, indústria 4.0 e estratégia de operações. Os resumos dos resultados dos protocolos de análise estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12: Resumo de resultados do protocolo de análise do estudo de caso 2

Protocolo	Categoria do Indicador	Área de decisão
PA-R1	Melhoria contínua	Tecnologia de processo
		Desenvolvimento e organização
PA-R2	Eliminação de atividades NVA	
	Melhoria contínua	
PA-R3		Tecnologia de Processo
		Desenvolvimento e organização

Fonte: A autora (2017)

Ao procurar tais parâmetros na Tabela Integradora (Tabela 5) podemos comprovar que a tecnologia Internet das Coisas se sobressai frente as demais ao considerarmos a soma dos parâmetros selecionados, conforme ilustrado na Tabela 13.

Tabela 13: Prova real do Estudo de Caso 2

Benefícios I4.0	Tecnologias correspondentes I4.0	Áreas de Decisão	Categoria do indicadores lean
Capacidade de atendimento em tempo real	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT
	Manufatura aditiva	Estratégia de capacidade Rede de suprimentos Tecnologia de processo	Integração de fornecedores Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT
Segurança	Segurança cibernética	Desenvolvimento e organização	Integração de fornecedores
	Big data e análises	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Networking	Realidade aumentada	Desenvolvimento e organização	Melhoria contínua Equipes multifuncionais
	Big data e análises	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Produzir em escala	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
Transparência	A nuvem	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
Flexibilidade	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Manufatura aditiva	Estratégia de capacidade Rede de suprimentos Tecnologia de processo	Melhoria contínua Produção e entrega JIT Integração de fornecedores
	Realidade aumentada	Desenvolvimento e organização	Melhoria contínua Equipes multifuncionais
Produção modular	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
Descentralização	Integração horizontal e vertical do sistema	Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Autonomia	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Simulação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo Desenvolvimento e organização	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua
	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
Redução de desperdícios	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
	Simulação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo Desenvolvimento e organização	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT

Fonte: A autora (2017)

Observa-se na Tabela 13 que além da tecnologia IoT como dominante, foi também apontado a Simulação, o que sugere que aliada a IoT haveria uma robustez maior do sistema e como consequência resultados mais eficientes. Conclui-se, portanto, que a tecnologia escolhida no estudo de caso 1 é validada pelo framework proposto, visto ter 100% das 5 relações

satisfeitas e comprovadas através da prova real. O subcapítulo a seguir apresentará o terceiro e último estudo de caso, para finalizar a análise dos cases propostos no capítulo 4.

4.4. Manufatura Digital

4.4.1. Contexto do estudo de caso número 3

A empresa analisada estava construindo uma nova fábrica na América do Sul para fabricação de um novo modelo do grupo. Foi realizado o layout via simulação para estudo de cenários e definições dos processos e sistemas de produção da planta. O problema é que já havia um histórico de alto índice de desperdício ao se implantar na prática e se depararem com erros e discrepâncias dos estudos gerados nas simulações, ocasionando investimentos dobrados que não estavam previstos no orçamento, recursos mal distribuídos, atrasos no planing e até mesmo nova concepção do projeto.

Dentre essas preocupações a alta direção entrevistou e solicitou que fosse utilizado uma nova tecnologia que trouxesse mais segurança e assertividade entre o previsto e concretizado, por isso foi escolhida a manufatura digital no projeto.

O processo ocorreu em 4 partes sendo a primeira, processos, onde foi possível definir: Requisitos de processo; Gráfico de montagem; Padrão das operações; Engajamento das linhas; e Análise ergonômica.

Para meios, a segunda parte, foi possível validar: Desenvolvimento dos equipamentos; Definição dos requisitos dos equipamentos (fossos, altura necessária, estrutura secundária); Contato prévio com fornecedores.

Na terceira etapa, Implantação e logística, foi possível ainda definir as embalagens, abastecimento das linhas e construção de layout.

A digitalização foi a quarta etapa chave para implantação de um projeto robusto com redução de custos pois permitiu, por meio do software DELMIA, projetar um layout eficaz com análises numérica e ergonômica além da definição do fluxo de montagem por meio de correções ou validações do cenário adequado ao repassar todas as etapas. No total foram 57 cenários analisados em um tempo de estudo de 8 meses que resultou em:

- Centralização e interoperabilidade de dados e processos durante o ciclo de vida do produto;
- Melhoria nas análises numéricas, ergonômicas e no engajamento de operações;
- Economia de 11,5% do total do budget previsto, traduzidos em €1,15M.

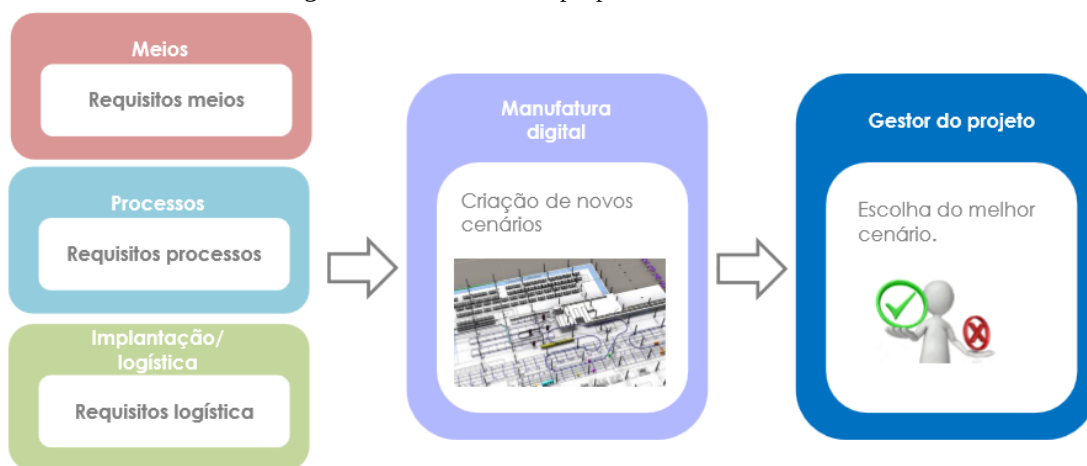
Na seção a seguir será fornecido um resumo da Manufatura Digital, realizada e aplicada na empresa em estudo deste trabalho, seguida da análise do framework proposto.

4.4.2. Resumo da obra

A obra intitulada *Manufatura Digital* de autoria de Ana Shinoara foi um projeto de planejamento do processo produtivo de uma fábrica de veículos Desenvolvimento de cenários para a fabricação da picape considerando aspectos de Produto, Processo e Recursos através da digitalização da planta antes de sua construção, com o objetivo de reduzir recursos através da simulação, no qual foi possível realizar:

- Planejamento e simulação da produção;
- Balanceamento de linha;
- Análise do fluxo de materiais;
- Design do Layout em 3D;
- Folhas de operação em 3D;
- Análise ergonômica;
- Análise de tempos padrões.

Figura 17: Framework de proposta de melhorias



Fonte: Shinoara (2017)

Através de simulação de cenários como ilustrado na Figura 16, os principais ganhos do projeto de digitalização foram:

- Economia de ~11,5% do total do budget previsto (€ 1,15M economizados);
- Melhoria nas análises numéricas, ergonômicas e no engajamento de operações;
- Centralização e interoperabilidade de dados e processos durante o ciclo de vida do produto.

4.4.3. Protocolo de Análise da Relação 01 – Estudo de caso 2

Para responder à questão “A estratégia influencia os projetos lean?” foram extraídas informações relacionadas aos benefícios do projeto, traduzidos em indicadores que seriam impactados conforme estratégia da organização. A Figura 17 nos traz dados importantes:

Figura 18: Benefícios da simulação através da digitalização



Fonte: Shinoara (2017)

Conforme trecho acima, os indicadores/áreas de decisão impactados são:

- Eliminação de atividades NVA/Estratégia de capacidade: “Melhoria na qualidade das análises e redução do tempo de inserção de novos produtos”;
- Melhoria contínua/Estratégia de capacidade: “Possibilidade de simular e analisar sistemas fisicamente não existentes ou já existentes”;
- Melhoria contínua/Desenvolvimento e organização: “(...) centralizando as informações e aumentando acurácia das decisões.

As relações acima serão ilustradas na matriz genérica para avaliar se compreendem o universo proposto, como resultado na Matriz 12.

Matriz 12: PA-R1 e PA-R5 Estudo de caso número 3

			Áreas de decisão			
			Estratégia de capacidade	Rede de suprimentos	Tecnologia de processo	Desenvolvimento e organização
			a	b	c	d
Categoria do indicador lean	Eliminação de atividades NVA	1	A1			
	Melhoria contínua	2	A2	B2	C2	D2
	Equipes multifuncionais	3				D3
	Produção e entrega JIT	4		B4	C4	
	Integração de fornecedores	5		B5		
	Sistema de informação flexível	6				D6

Fonte: A autora (2017)

Observa-se que as relações encontradas satisfazem o protocolo em A1, A2 e D2, validando a escolha da tecnologia nesta primeira etapa e consequentemente, relação do framework. Como mencionado na seção 3, se a relação 1 é satisfeita, obrigatoriamente é satisfeita a relação 05.

4.4.4. Protocolo de Análise Relação 02 – Estudo de caso 3

A questão a ser respondida nesta etapa é: O lean influencia a Indústria 4.0? Foram analisadas informações em todo contexto da obra, o que resultou em 2 categorias de indicadores:

- Eliminação de atividades NVA: Através da digitalização foi reduzir desperdícios no projeto, como por exemplo: ociosidade do processo por má alocação de recursos, necessidade de retrabalho em novo design, entre outros;
- Melhoria contínua: É viabilizada pela da simulação de novos cenários, conforme Figura 16.

As relações acima serão ilustradas na matriz genérica para avaliar se compreendem o universo proposto, como resultado na Matriz 13.

Matriz 13: PA-R2 e PA-R4 Estudo de caso número 3

		Categoria lean do indicador					
		Eliminação de atividades NVA	Melhoria contínua	Equipes multifuncionais	Produção e entrega JIT	Integração de fornecedores	Sistema de informação flexível
y \ x		e	f	g	h	i	j
Tecnologias da Indústria 4.0	Automação	1 E1			H1		J1
	Simulação	2 E2	F2				
	Integração horizontal e vertical do sistema	3					J3
	Internet das coisas (IoT)	4 E4	F4		H4		
	Segurança cibernética	5					J5
	A nuvem	6			J6		J6
	Manufatura aditiva	7	F7		H7	I7	
	Realidade aumentada	8	F8	G8			
	Big data e análises	9			H9	I9	J9

Fonte: A autora (2017)

A relação encontrada satisfaz o protocolo em E2 e F2, validando a escolha da tecnologia na segunda relação do framework. Como mencionado na seção 3, se a relação 2 é satisfeita, obrigatoriamente é satisfeita a relação 04.

4.4.5. Protocolo de Análise da Relação 03 – Estudo de caso 3

Para responder à questão “A Indústria 4.0 suporta a estratégia? ”, foram capturadas informações relacionadas aos resultados alcançados no projeto de planejamento do processo, além do benefício da Manufatura Digital dentro da simulação, no qual obteve-se como áreas de decisão:

- Estratégia de capacidade: Fazem parte do projeto de capacidade os resultados citados na obra i) Planejamento e simulação da produção; ii) Balanceamento de linha; iii) Análise do fluxo de materiais; e iv) Análise de tempos padrões;
- Tecnologia de processo: A manufatura digital entra como uma tecnologia que enriquece a simulação permitindo recursos avançados e resultados mais robustos.

A relação acima será ilustrada na matriz genérica para avaliar se compreendem o universo proposto, como resultado na Matriz 14.

Matriz 14: PA-R3 Estudo de caso número 3

			Áreas de decisão			
			Estratégia de capacidade	Rede de suprimentos	Tecnologia de processo	Desenvolvimento e organização
			k	l	m	n
Tecnologias da Indústria 4.0	Automação	1	K1		M1	N1
	Simulação	2	K2		M2	
	Integração horizontal e vertical do sistema	3				N3
	Internet das coisas (<i>IoT</i>)	4	K4		M4	
	Segurança cibernética	5				N5
	A nuvem	6		L6		N6
	Manufatura aditiva	7	K7	L7	M7	
	Realidade aumentada	8				N8
	<i>Big data</i> e análises	9		L9		N9

Fonte: A autora (2017)

Observa-se as 2 relações encontradas satisfazem o protocolo em K2 e M2, validando, portanto, a escolha da tecnologia nesta terceira relação do framework.

4.4.6. Prova Real – Estudo de caso 3

Através da identificação dos parâmetros identificados nas matrizes 12, 13 e 14 e busca dos mesmos na Tabela Integradora (Tabela 5), será possível avaliar se a tecnologia adotada satisfaz as características de alinhamento entre lean, indústria 4.0 e estratégia de operações. Os resumos dos resultados dos protocolos de análise estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14: Resumo de resultados do protocolo de análise do estudo de caso 3

Protocolo	Categoria do Indicador	Área de decisão
PA-R1	Eliminação de atividades NVA	Estratégia de capacidade
	Melhoria contínua	Estratégia de capacidade
	Melhoria contínua	Desenvolvimento e organização
PA-R2	Eliminação de atividades NVA	
	Melhoria contínua	
PA-R3		Estratégia de capacidade
		Tecnologia de processo

Fonte: A autora (2017)

Ao procurar tais parâmetros na Tabela Integradora (Tabela 5) podemos comprovar que a tecnologia Simulação se sobressai frente as demais ao considerarmos a soma dos parâmetros selecionados, conforme ilustrado na Tabela 15.

Tabela 15: Prova real do Estudo de Caso 3

Benefícios I4.0	Tecnologias correspondentes I4.0	Áreas de Decisão	Categoria do indicadores lean
Capacidade de atendimento em tempo real	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT
	Manufatura aditiva	Estratégia de capacidade Rede de suprimentos Tecnologia de processo	Integração de fornecedores Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT
Segurança	Segurança cibernética	Desenvolvimento e organização	Integração de fornecedores
	Big data e análises	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Networking	Realidade aumentada	Desenvolvimento e organização	Melhoria contínua Equipes multifuncionais
	Big data e análises	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Produzir em escala	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
Transparência	A nuvem	Rede de suprimentos Desenvolvimento e organização	Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
Flexibilidade	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Manufatura aditiva	Estratégia de capacidade Rede de suprimentos Tecnologia de processo	Melhoria contínua Produção e entrega JIT Integração de fornecedores
	Realidade aumentada	Desenvolvimento e organização	Melhoria contínua Equipes multifuncionais
Produção modular	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
Descentralização	Integração horizontal e vertical do sistema	Desenvolvimento e organização	Sistema de informação flexível
Autonomia	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Simulação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo Desenvolvimento e organização	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua
	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
Redução de desperdícios	Automação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Produção e entrega JIT Sistema de informação flexível
	Internet das coisas (IoT)	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT
	Simulação	Estratégia de capacidade Tecnologia de processo Desenvolvimento e organização	Eliminação de atividades NVA Melhoria contínua Produção e entrega JIT

Fonte: A autora (2017)

Deste modo, conclui-se que o terceiro estudo de caso valida o framework proposto ao escolher a tecnologia da Simulação como dominante. No próximo subcapítulo será apresentado um resumo geral da aplicação dos três estudos de caso.

4.5. Resumo dos resultados

Através dos estudos de caso: i) Almoxarifado Digital; ii) IOT de apoio à Manutenção; e iii) Manufatura Digital foi possível validar a funcionalidade do framework proposto neste trabalho.

O framework inicial proposto pode ser avaliado através dos 3 estudos de caso que compreenderam universos diferentes, com objetivos diferentes e tecnologias da Indústria 4.0 diferentes, sendo o primeiro caso relacionado a Manufatura Aditiva, o segundo à Internet das Coisas e o terceiro à Simulação. Deste modo foi possível avaliar o método em circunstâncias diferentes, conforme necessidades da empresa, mas seguindo um padrão de análise através do passo a passo a cada protocolo percorrido.

Tem-se como resultado final o framework integrador de lean, estratégia de operações e indústria 4.0, acompanhando dos protocolos de análise e tabela de prova real como conjunto para auxiliar nas tomadas de decisão, respondendo com sucesso 4 objetivos específicos do trabalho.

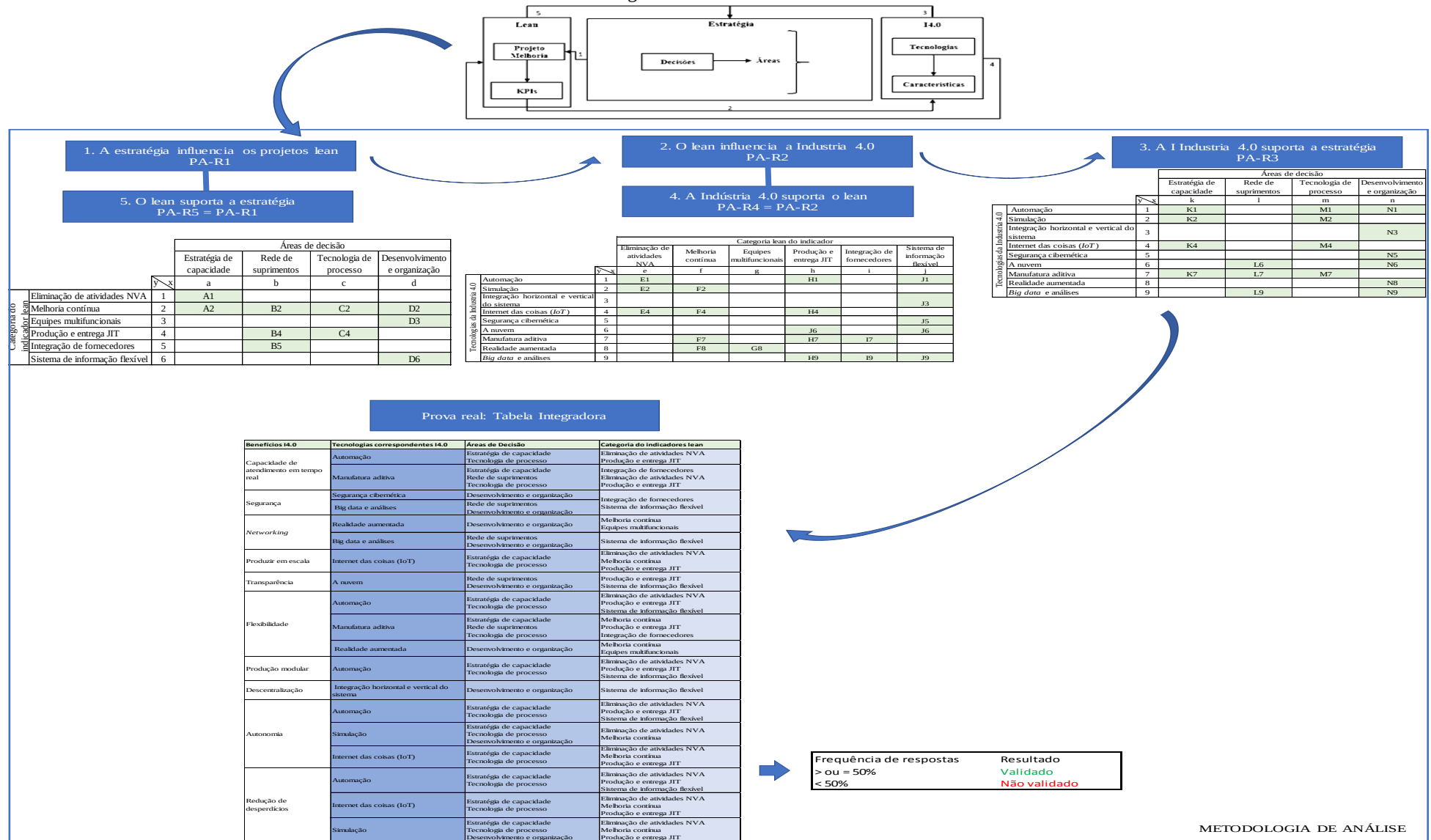
No próximo subcapítulo será desenvolvido o framework final a partir dos resultados obtidos até o momento, conforme aprendizagem dos estudos de caso.

4.6. Framework Final

4.6.1. Desenvolvimento do framework final

Com a proposta validada pela aplicação do framework inicial nos estudos de caso, tem-se o refinamento do framework, na Figura 18. O objetivo é ilustrar o passo a passo para aplicação do framework inicial proposto, de maneira a auxiliar os aplicadores de uma maneira fácil e intuitiva, seguindo a ordem dos protocolos de análise em um padrão, para um resultado confiável.

Figura 19: Framework final



Fonte: A autora (2017)

As diferenças entre o framework inicial e final é que diferentemente do primeiro, que engloba apenas as questões relacionadas aos temas lean, estratégia de operações e indústria 4.0, que foram utilizadas para construção da ferramenta de análise, este último contempla o passo a passo completo. As setas indicam o sentido da investigação desde o início da leitura do framework inicial com as relações, até a finalização com a comprovação por meio da Tabela Integradora como prova real após as análises de cada protocolo correspondido, conforme metodologia padrão de análise de cada estudo de caso apresentado na Tabela 6, ou seja, o framework final é o método final de auxílio para responder como decidir qual tecnologia da Indústria 4.0 selecionar em um sistema de produção lean alinhado com a estratégias de operações da empresa.

4.6.2. Análise da aplicação framework final

Ao se analisar o framework final ilustrado na figura 18 é possível observar que temos como resultado um método de auxílio didático e intuitivo, mas que exige um grau de expertise do avaliador, afinal, deve-se entender qual o objetivo estratégico a empresa está buscando e quais os indicadores que ela determina atingir ao se propor uma tecnologia da Indústria 4.0

Partindo do framework inicial, seguimos para a responder a primeira relação “A estratégia influencia os projetos lean” através do protocolo de análise 1, que por sinal também responde a quinta relação “o lean suporta a estratégia” e protocolo 5 respectivamente. Na sequência tem-se a análise da 2ª relação “O lean influencia a indústria 4.0?” através do segundo protocolo, o qual também responde a quarta relação “A indústria 4.0 suporta o lean” e protocolo de número 4 respectivamente. Depois tem-se a análise por meio do terceiro protocolo associado a relação número 3 “A indústria 4.0 suporta a estratégia”.

Todos os protocolos devem seguir a metodologia conforme Tabela 6 para padrão das análises dos estudos de caso. Os resultados são então compilados e é realizada a prova real através da Tabela Integradora (Tabela 4) que fornecerá os resultados ao pesquisador por meio da análise direta das informações obtidas caso seja respeitada a frequência de 50% do confronto entre analisado e pré-definido.

Finaliza-se, portanto, o quinto e último objetivo específico, tendo como resultado um framework robusto que responde ao objetivo geral do trabalho: elaborar um framework para auxiliar as empresas na seleção de tecnologias da Indústria 4.0 alinhadas a filosofia lean de acordo com a sua estratégia de operações.

5. CONCLUSÃO

As empresas estão cada vez mais preocupadas no quesito estar à frente da concorrência, o que é possível através da corrida tecnológica. Em se tratando de cultura lean, a filosofia de produção da empresa não pode ser desconsiderada ao aplicar a I4.0, porém o sistema de produção como um todo vai necessitar de adaptações e incorporações que variam conforme a estratégia de operações da organização. Há, portanto, uma necessidade de adotar tecnologias conforme necessidades estratégicas que são motivadas por resultados dos indicadores de desempenho. Para facilitar esse processo foi desenvolvido um framework de alinhamento dos temas estratégia de operações, lean manufacturing e Indústria 4.0 para auxiliar na tomada de decisão de qual tecnologia da era da 4ª revolução industrial investir.

Para isso ser possível foi realizada revisão da literatura dos temas como base a construção do framework inicial e através de 3 estudos de caso foi possível avaliar se o modelo satisfazia as necessidades, o qual se mostrou adequado como suporte as tomadas de decisão para estes casos, sendo complementado com o método passo a passo tornando-o mais robusto e didático, como ilustrado pelo framework final.

Sugere-se para trabalhos futuros considerar a aplicação do framework como projeto de decisão de tecnologias da Indústria 4.0 diferentes das abordadas no presente trabalho, para aprimorar os resultados. Outro estudo que contribuiria, é incorporar ao framework, questões de sustentabilidade ambiental, cujo tema é cada vez mais relevante no ramo industrial.

REFERÊNCIAS

AHERNE, J., & WHELTON, J. **Applying Lean in Healthcare: A collection of International Case Studies**. New York: Taylor & Francis Group, 2010.

AIEX, Viviane Mantovani. **Avaliação do planejamento avançado da qualidade do produto no setor automobilístico com base na engenharia simultânea**. Dissertação de mestrado. Curitiba, 2003.

AYALA, Néstor Fabián. **A utilização do hoshin kanri para o desdobramento da estratégia no contexto da produção enxuta**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento pelas diretrizes**. 2ª edição. Editora: GFCO. 1996

CARDOZA, Edwin. CARPINETTI, Luiz C. Ribeiro. **Indicadores de desempenho para o sistema de produção enxuto. Performance measures for lean production system**. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - Programa de Pós-graduação do Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis, SC, Brasil. www.producaoonline.inf.br ISSN 1676 - 1901 / Vol. 5/ Num. 2/ Junho de 2005.

CHIAVENATO, Idalberto. **Administração da produção: uma abordagem introdutória**. Rio de Janeiro. Editora: Elsevier, 2005.

CLIMENT, María. **Así es la fábrica del futuro y así volverá a Europa**. Disponível em: <<http://www.elmundo.es/economia/2014/10/24/54494bf1e2704ec91c8b456c.html>> .

CORDEIRO, Gabriel O. **Prova de concepção – Manutenção preditiva**. Apresentação em Power Point. Confidencial, 2017

CORREA, H. L., & CORREA, C. A. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Atlas, 2006.

DANNEELS, E. **The dynamics of product innovation and firm competences.** 2002, Strategic Management Journal, 23, 1095–1121.

DISNER, Nairana A. A. **Modelo de tomada de decisão para a produção de peças MRO – um estudo de caso em uma indústria do setor automotivo.** Documento de dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Sistemas. PUCPR. 2017

FABRIZIO, T.; TAPPING, D. **5S for the office: organizing the work place to eliminate waste.** New York: Productivity Press, 2006.

GAUSEMEIR, Jurgens; DUMITRESCU, Roman; JASPERNEITE, Jurgens; KUHN, Arno; TRSEK, Henning. **Auf dem Weg zu Industrie 4.0: Lösungen aus dem Spitzencluster it's OWL.** 2014.

GIANNINI, R. **Aplicação de ferramentas do pensamento enxuto na redução das perdas em operações de serviços.** São Paulo: Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

GRABAN, M. **Lean Hospitals: Improving Quality, Patient safety, and Employee satisfaction.** Taylor & Francis Group. New York, 2009.

GUIMARÃES, L. S.; MEDEIROS, H. S.; SANTANA, A. F. B.; PEREIRA, M. S. **Redução de custos no processo produtivo com a utilização do ABC e Ferramentas Lean: estudo de caso em uma indústria de componentes de refrigeração.** GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas. Bauru, Ano 10, nº 1, p. 157-175, jan-mar/2015.

HARREL, C. R.; BATEMAN, R. E.; GOGG, T. J.; MOTT, J. R. A. **System Improvement Using Simulation.** Orem, Utah, USA, PROMODEL Corporation, 1992.

KAGERMANN, Henning. WAHLSTER, Wolfgang. HELBIG, Johannes. **Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0.** Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Editora: Linda Treugut, M.A., 2013.

KIRAZLI, Alev; HORMANN, Ricardo. **A conceptual approach for identifying Industrie 4.0 application scenarios**. Proceedings of the 2015 Industrial and Systems Engineering Research Conference.

LUSTOSA, Eduardo; MESQUITA, Marco A.; QUELHAS, Osvaldo ET AL. **Planejamento e Controle da Produção**. 2.^a tiragem. Elsevier. Rio de Janeiro, p.1-2, 2008.

MENEGON David. RENOVATO, Ricardo Nazareno. FREITAS, Antonio. **Relacionamento entre desperdícios e técnicas a serem adotadas em um Sistema de Produção Enxuta**. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003

MIGUEL, Paulo A. C. ET AL. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Elsevier. Rio de Janeiro, p. 47-51, 2010.

MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S.; LEAL, F.; PINHO, A. F. **Economic Evaluation of Scenarios for Manufacturing Systems Using Discrete Event Simulation Based Experiments**. Brazilian Journal of Operations & Production Management, 7, pg 77-103, 2010.

MOREIRA, Antonio Pinto. **Os 7 tipos de desperdícios**. Disponível em <https://pontotga.wordpress.com/2014/04/02/os-7-tipos-de-desperdicios/>, link de acessado. Acessado em 17/02/2017.

OHNO, T. (1988). **Toyota production system: beyond large-scale production**. Cambridge, Mass.: Productivity Press

PERIN, Edson. **A RFID é a base da Indústria 4.0**. RFID Journal Brasil. Disponível em <http://brasil.rfidjournal.com/notas-do-editor/vision?13025>, link de acessado. Acessado em 04/07/2017.

PICCHI, F. A. **Lean na administração**. In: LEAN SUMMIT BRASIL, Gramado: Lean Institute Brasil, 2002.

RUBMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **The Boston Consulting Group**. 09 abril de 2015.

SHINOARA, Ana C. **Manufatura Digital**. Apresentação em PDF. Confidencial, 2017

SLACK, Nigel; LEWIS, Michael. **Estratégia de Operações**. 2.^a edição. Bookman. Porto Alegre, p. 237, 2009.

SLACK, N. & Lewis, M. **Operations Strategy**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2nd Ed, 2002.

VEJA.COM. SEÇÕES ON-LINE. Produto Interno Bruto (PIB). Disponível em: <http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/perguntas_respostas/pib/produto-interno-bruto-pib.shtml>.

TAPPING, D.; SHUKER, T. **Value stream management for the lean office: 8 steps to planning, mapping, and sustaining lean improvements in administrative areas**. Florence: Productivity Press, 2003.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 2001

APÊNDICE A

ARTIGO 1: ISERC, 2016

IIE Annual Conference and Expo (ISERC), 2016. Anaheim, California

A Decision-Making Framework for Lean and Industry 4.0

Stephanie Wolovicz Doh

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Curitiba, Paraná, Brazil

Fernando Deschamps

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Curitiba, Paraná, Brazil

Edson Pinheiro de Lima

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Curitiba, Paraná, Brazil

Abstract

Industry has been experiencing a significant transformation in the past decades, with two main factors leading the way. The first one is the widespread application of automation and information technologies – commonly referred to as Industry 4.0 or the smart factory paradigm. The second one is the focus on efficiency and waste reduction emphasized by the lean philosophy. Making operational-level decisions that are lean-driven, account for existing technologies and make use of data made available by automation and information systems is increasingly important if an industrial organization aims at enhancing its competitive position and more quickly responding to market demands. This work proposes a process-oriented framework to aid in decision-making regarding the organization and use of production resources (e.g., competences, equipment, materials and energy) according to a combined Industry 4.0 and lean perspective. The framework is based on computer-based simulations of scenarios that extensively use available data and take into account different aspects of an operation, such as its efficiency and effectiveness. It is derived from the literature and refined through the discussion of the possibility of its application to the case of a car manufacturer.

Keywords

Industry 4.0, lean, decision

1. Introduction

The business environment nowadays, is characterized by rapid changes in customers, technology race and the increasingly competitive, organizations must continually renew itself to survive and thrive [1].

The challenge in meeting the customer with quality, speed and cost / benefit brings up the advent of intelligent industry that emerges in this century, yet not intimidating way, as a new industrial revolution, causing managers to seek new production systems whose words synchronization and industrial control are the key to success.

This article aims to present an exploratory case to identify through the systematic analysis of a proposed framework, what actions each area must pursue in order to implement a lean improvement within a manufacturing organization. In this article, we used exploratory case in a multinational automotive company, located in Parana State, Brazil. Pursuant to comply with confidentiality issues, the authors adopted 'MRB', as a fictitious name to the enterprise in study

Literature Review

1.1. Industry 4.0

Industry 4.0 (I4.0), the term, first appeared at a trade show in Germany of manufacturing technology, the Hanover Fair in 2011, since then more and more researchers and practitioners are studying about a new revolution. In practical terms, the fourth revolution suggests increasing the use of automation and intelligent communication systems, not only in factories, but throughout its value chain, thus making it a collaborative community, aimed at increasing productivity and synchronization between the main actors.

The use of new technologies will be needed to integrate machines and humans, composing a network of entities located and distributed at different geographical positions. Field devices, machines, plants and factories will increasingly be connected to a network. They are available as data objects in the network and can store data in real time [2].

I4.0 with several other terms were more in evidence among them are: Smart Factories, Internet of Things (IoT), Cyber-Physical Systems (CPS), Big Data, among others. Intelligent Factories are able to manage the complexity of production processes, are less prone to disturbances and are able to manufacture products more efficiently, as humans, machines and resources can communicate between them [3]. Unlike Industry 4.0, Intelligent Factories do not take into consideration the value chain, so it still has the need to integrate with the culture of lean manufacturing [4].

1.2. Lean Manufacturing

Lean principles have gained notoriety in the 1980s with the publication of the results of a research project led by MIT (Massachusetts Institute of Technology) who studied the management practices and improvement programs adopted by leading companies in the automotive supply chain and It found that the adoption of these principles greatly contributed to its competitiveness. [5]

Lean thinking, also called Lean Manufacturing and also known as Lean Thinking, is supported in principle the Toyota Production System (TPS). Can be defined as a systematic approach to the identification and elimination of waste in production processes, as has its main focus on adding quality and deliver to the customer only what he considers value [6]. To accomplish this task, the Lean philosophy uses the application of a number of tools and strategies that help to simplify all aspects of business processes, through direct attack every kind of loss caused by production systems [7]. These losses are characterized by seven wastes of production, originally referred to as "seedlings" and proposed by Taiichi Ohno, production engineer and STP precursor in the 1940s More recently, new waste were being added in the "mute", as shown in Figure 1 [8].



Figure 1: Eight Lean Wastes

2. Methodology

Exploratory research was the method chosen for the development of the study. Such research aims to become familiar with the problem, making it explicit or building hypotheses [9]. As shown above, article data were collected in a vehicle assembler in the state of Paraná.

In order to select the best alternative to change the robot from one line to another, in the case study, using simulation to carry out all possible opportunities based in lean manufacturing e characteristics of the industry 4.0. The aim is to identify actions and designate responsible for the improvement to minimize disturbs, apply manufacturing constraints and execute expectations of the business management. The authors propose an analytical framework in order to be used as an aid during a process of evaluation and deployment processes of nature changes. The model has five stages and is shown in Figure 2.

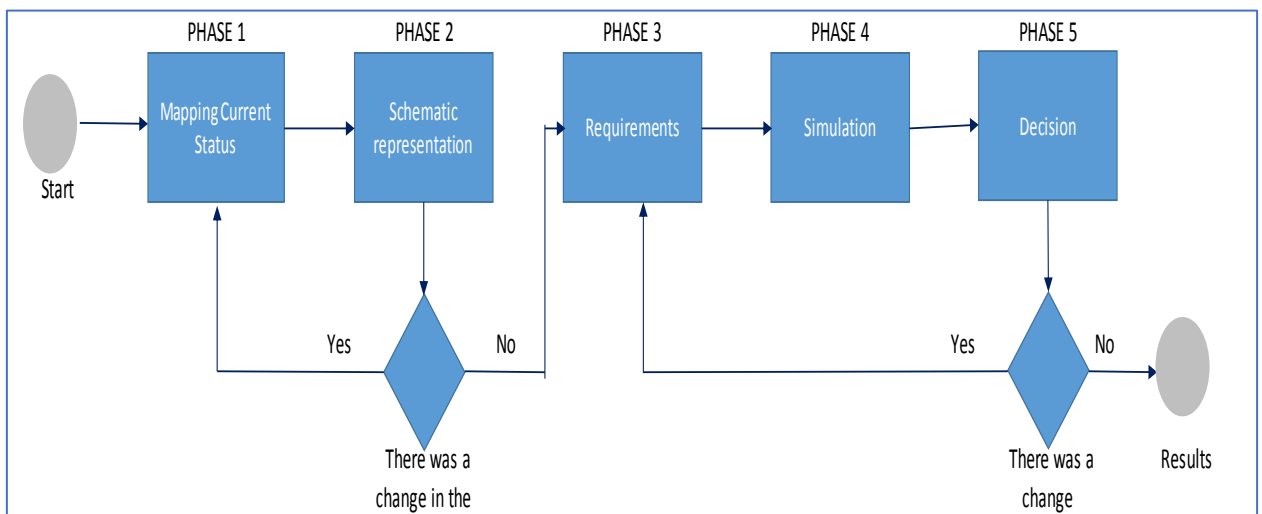


Figure 2: A Decision-Making Framework

Each of these phases will be executed through the exploratory study. Because it is sensitive data, the company did not disclose which allowed the final opportunity chosen to be implemented, however, it was possible to result in actions that would lead to such a transfer to take place efficiently. The next step is to apply the framework in a real situation analysis.

3. Application

The model was proposed based on the opportunity to move a robotic cell to meet fluctuating demand and enhance the engagement of operators. In the simulation phase of the proposed situation were raised criteria for choosing the best opportunity so that the cell was installed in the most favorable condition of the plant.

3.1. Current Situation

The current line, called ME5 has 13 stations with step 5 meters to the elevator of exchange skid (based on which the vehicle body travels the production flow) by balancelle (aerial assistance in which the vehicle is guided through the flow).

3.1.1. Phase 1: Mapping / Data collection

The islands have a preparation station, a transfer system within the cell, rotator, a centering device, robot to fit the design of the windshield, windows and windows for 4 vehicle models, as well as an output station horizontal. There is an island of windshields and one for the other glass, Process data and equipment are as follows:

- Nominal rate (vehicles / hour): 60 vehicles / hour;
- Additional capacity to treat bonding windows (editor): 10%;
- Maximum cadence (+ edition nominal fee): 66 vehicles / hour (54 seconds);
- Availability: 99.8%;
- Average interruption time: 10 min;
- Frequency of stops per thousand parts per device (FSPP): 0.0128 (1 year);
- The maximum downtime for equipment failure: 20 min;
- Lifetime average: 3 million cycles.

It should be added that at this stage are collected every trivial data to knowledge of what you have in order to properly plan for the future scenario. Some more specific product information, the number of operators, and cycle time, for example, are critical. They just were omitted in the confidentiality of the MRB.

3.1.2. Phase 2: Representation

The actual situation can be represented visually by various methods and tools, such as modeling, flowchart diagram processes, Current Status Map (VSM), among others. In this article, the simulation was chosen to illustrate the process by CATIA V5 software, as follows in Figure 3.

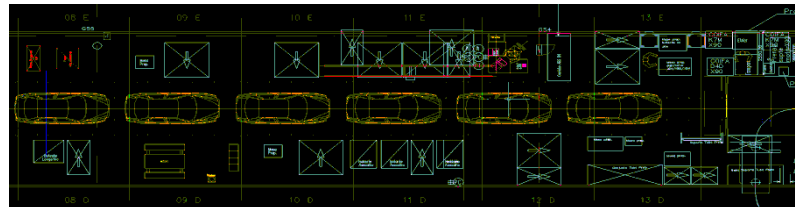


Figure 3: Actual production line, ME5

3.2. Proposed Situation

The line where the robot will be allocated, SE4, has a total of 11 stations with step 5.8 meters, to the exchange of lift skid by balancelle.

3.2.1. Phase 3: Requirements

Before starting this step, the analyst must answer the following question: There was a change in the current data? Also so, one must return to early stage to update the information. In the case of this research, there were no changes. Then, the robot makes mounting the mirror in vehicles, thanks to a path registration system. This system must be disabled (removed) and the robot will simply drop the glasses just to leave the station. The assembly of the window will be done manually with mechanical assistance help.

The study should contain the modification (mechanical, electrical and automation) of the two islands to each installation be able to do all windshields and glass. The two facilities will be compacted, unlike the current situation, in which the output file panels are horizontal and they need to be modified to stay in an inclined position of withdrawal. At this stage it was collected

sizing information for all models to be produced. The data is not stated in the article for reasons of confidentiality.

3.2.2. Phase 4: Simulation

They were considered some restrictive criteria relating to simulate scenarios related to the line where the robot should be positioned, as follows:

- i. *Space*: should be sufficient between the robot system guardrail and the vehicle for the operator to be able to walk and do operations;
- ii. *Operation*: Consider that the same robot that will apply the mastic in the rear window, also apply in glasses custody;
- iii. *Ergonomics*: The cart the robot will deposit the glass with mastic should have a slope to facilitate the handle with care and also consider that the operator will work on the 350 mm platform
- iv. *Line speed*: 60 vehicles / hour.

It should be added that the ii and iv criteria were developed based on the philosophy, whose feature of the first is to use the same robot to two different models, and the second, using only one robot, even increasing the speed of the line before was 47 veic / hour. Based on four criteria were simulated through CATIA, three proposals:

- **Event 1:** Relocate the robots against the flow of the line, where preparations glasses would be next to the elevator and the delivery of glasses with mastic should be in 09D and 09E stations, as shown in Figure 4.

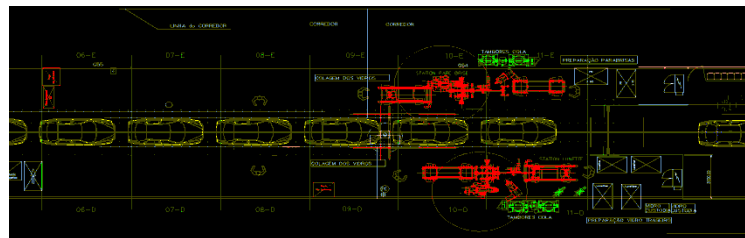


Figure 4: Proposal 1 - robot installation

- **Event 2:** Relocate the robots in the direction of the flow line, where preparations glasses would be in the position 07D and 07e and delivery of glasses with mastic should be in the stands 09D and 09E.

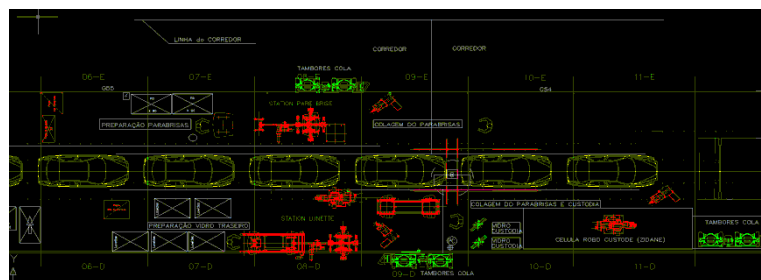


Figure 5: Proposal 2 - robot installation

- **Event 3:** Relocate the robots on the line, where preparations glasses would be in 09D and 09E station and delivery of glasses with mastic should be in the same positions.

4. Conclusions

The aim of this paper was to propose a framework of how to implement improvements based on lean principles taking into account the emerging industry 4.0. The simulation, a powerful tool for the visual representation contemplated advantage of being able to test and validate scenarios, was used as a vehicle for visual identification of practical opportunities.

Using a framework proposed as the basis for decision-making that takes into account the reduction of waste and integration with smart factory, analyzed an exploratory case of transfer of a robot cell from one row to another in order to meet some criteria capacity and infrastructure. It was possible to draw the current state of the factory, collect process data and restrictive information, representing the visually layout, identify constraints and consider them on hypotheses through simulation to making more assertive decision. It was found that the model used was effective because it had the expected results. One of the hypotheses simulated on the future state of the planning phase can be chosen, but there was no disclosure because of confidentiality restrictions imposed by the MRB.

It is suggested for further research, apply the framework in other cases, whose continent is beyond the automotive industry, surpassing products processing features, for example, seen the ascendancy of competitiveness both in manufacturing and in services.

5. Acknowledgements

The authors are grateful to the availability of supervisors in monitoring the development of the project and to managers to allow the collection of information and provide the necessary actual data that enabled the exploratory research of this work.

References

1. Danneels, E. (2002). The Dynamics Of Product Innovation And Wrm Competences. *Strategic Management Journal*, 23, 1095–1121.
2. Drath, R., Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit Or Hype? *Ieee Industrial Electronics Magazine*, P. 56-58.
3. Gausemeir, J., Dumitrescu, R., Jasperneite, Et Al. (2014). Auf Dem Weg Zu Industrie 4.0: Lösungen Aus Dem Spitzencluster It'S Owl. Das Technologie-Netzwerk: Intelligente Technische Systeme Ostwestfalenlippe. [Http://Www.Its-Owl.De/Fileadmin/Pdf/Industrie_4.0/Auf_Dem_Weg_Zu_Industrie_4.0_-_Loesungen_Aus_Dem_Spitzencluster_Its_Owl_Rgb.Pdf](http://Www.Its-Owl.De/Fileadmin/Pdf/Industrie_4.0/Auf_Dem_Weg_Zu_Industrie_4.0_-_Loesungen_Aus_Dem_Spitzencluster_Its_Owl_Rgb.Pdf).
4. Kirazli, A., Hormann, R. (2015). A Conceptual Approach For Identifying Industrie 4.0 Application Scenarios. *Proceedings Of The 2015 Industrial And Systems Engineering Research Conference. Intelligente Technische Systeme Ostwestfalenlippe.* <[Http://Www.Its-Owl.De/Fileadmin/Pdf/Industrie_4.0/Auf_Dem_Weg_Zu_Industrie_4.0_-_Loesungen_Aus_Dem_Spitzencluster_Its_Owl_Rgb.Pdf](http://Www.Its-Owl.De/Fileadmin/Pdf/Industrie_4.0/Auf_Dem_Weg_Zu_Industrie_4.0_-_Loesungen_Aus_Dem_Spitzencluster_Its_Owl_Rgb.Pdf)>
5. Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D. A *Máquina Que Mudou O Mundo*. Rio De Janeiro: Campus, 2001.
6. Graban, M. (2009). *Lean Hospitals: Improving Quality, Patient Safety, And Employee Satisfaction*. New York: Taylor & Francis Group.
7. Aherne, J., & Whelton, J. (2010). *Applying Lean In Healthcare: A Collection Of International Case Studies*. New York: Taylor & Francis Group.
8. UdeMy. Disponível Em < [Https://Www.UdeMy.Com/Improving-Your-Business-The-Lean-Way/](https://Www.UdeMy.Com/Improving-Your-Business-The-Lean-Way/) >. Acesso Em 20.01.2016.
9. Gil, A. C. *Como Elaborar Projetos De Pesquisa*. 4ª Edição. São Paulo: Atlas, 2002.

APÊNDICE B

ARTIGO 2: ISPE, 2016

In: International Society for Productivity Enhancement (ISPE). TE2016, Curitiba, Brazil.

Systems integration in the lean manufacturing systems value chain to meet the industry 4.0

Stephanie W. DOH^a Fernando DESCHAMPS^b Edson P. LIMA^c
^{a b c} *Pontifical Catholic University of Paraná, Curitiba 80215-901, BRA*

Abstract. In the last two decades, technological and managerial changes are helping industrial organizations address the growing need to become more competitive, reducing production costs and delivering products that meet quality standards with higher performance. Two factors play a major role in this scenario. The first factor is the widespread application of automation technologies that make extensive use of intelligent information processing techniques, a paradigm that has been called Industry 4.0. The second factor is the adoption of the lean philosophy, with its focus on efficiency, effectiveness and waste reduction by emphasizing the core value that must be delivered to customers. Making decisions related to changes in a production environment usually involves considering aspects related to these factors and their relationships, which in most cases are non-trivial. This work is a historical review of the literature of the industrial revolution to the new industry 4.0, added the needs of automation use in lean production systems and supply chain characterization to develop a framework for integration of information systems and technologies in the stages of the chain value manufacturing.

Keywords. Lean, industry 4.0, systems, integration.

Introduction

The company constantly undergoes changes, whether related to habits, cultures or systems. Besides being a matter of survival, evolution is part of the human nature, being the primary factor on globalization. After the mechanization of production, which marks the first industrial revolution in the late 18th century, the industry continues to go through transformations in production and operations management systems. The increasing developments in technology come from the race of competitiveness and resulting need to reduce manufacturing costs in order to reduce the rates of non-value added and eliminating waste. The challenge in meeting the customer with quality, speed and cost/benefit brings up the advent of intelligent industry that emerges in this century, yet not intimidating way, as a new industrial revolution, causing managers to seek new production systems whose words synchronization and industrial control are the key to success. Has a few reasons why they believe have led to the new industrial revolution, they are: an increase in developing countries, leading to a greater number of markets that companies need to provide goods; and reduced product life cycles and consequently greater flexibility in the production network has to deal with [1].

This article aims to conduct a literature review about the industrial revolution issues, industry 4.0, industrial automation in lean systems to understand the integration of these issues and develop a framework with systems and candidates technologies composing the manufacturing value chain in order to meet the new industrial demands contemplated in the call 4th industrial revolution.

1. Literature Review

This article aims to conduct a literature review about the industrial revolution issues, industry 4.0 (I4.0), industrial automation in lean systems and supply chain to understand the integration of these issues and develop a framework with systems and candidates technologies composing the manufacturing value chain in order to meet the new industrial demands contemplated in the call 4th industrial revolution.

5.1. Revolutions in Industry

The constant need of companies become increasingly competitive, induces the fact that inclusion of more technologies. This can be observed with the advent of the industrial revolution, which brought with it several benefits such as the main significant productivity increases.

According to the first industrial revolution began with the introduction of mechanical production equipment with the invention of the steam engine at the end of the 18 century [2]. The second, since the beginning of the 20 century, has as main characteristic the mass production, through the lines of production developed by Frederick Taylor, whose source was electricity-powered energy.

The third, in 1969, introduced the programmable logic controller that enabled digital automation systems programming. The programming paradigm still governs the modern automation engineering system of today and leads to highly flexible automation systems and efficient [3]. Based on advanced scanning within the factories, the combination of 2 types of technologies, Internet and domain-oriented of the smart objects (and products), appears to result in a fundamental change of industrial paradigm, which is being called the fourth Industrial Revolution or 4.0 Industry. Figure 1 represents the industrial revolutions, having as axis the complexity and productivity in relation to time [4].

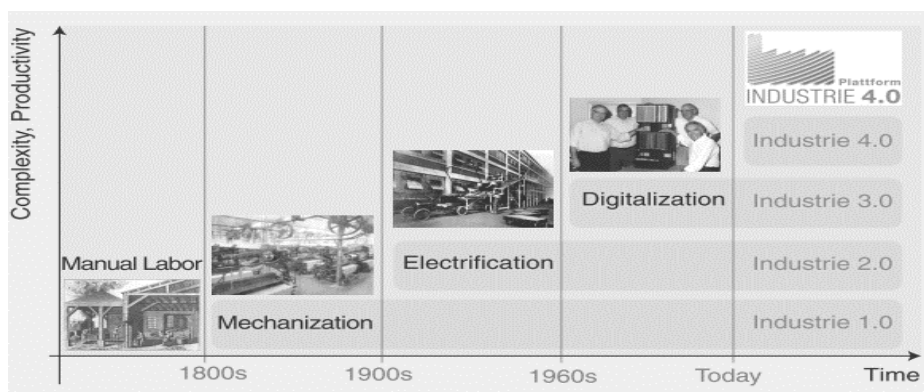


Figure 1. Timeline of industrial revolutions

1.2 Industry 4.0

Since the late eighteenth century industries have undergone three technological developments. The first industrial revolution occurred in the transition from manual labor to machines powered steam, resulting in new opportunities and facilities for industrial production. The second

revolution that occurred in the mid-nineteenth century was characterized by the use of electricity, introduction of mass production and the division of labor. In the third revolution, which took place in the 70s and remains today, it is characterized by the use of electronics and information technology for increased automation systems. As shown in the literature review on the application of automation Integrated Manufacturing Computer in the 80s, it is one of the systems that control and automate a production process using information and communication technology. Figure 2 shows a schematic graph of the industrial revolution.

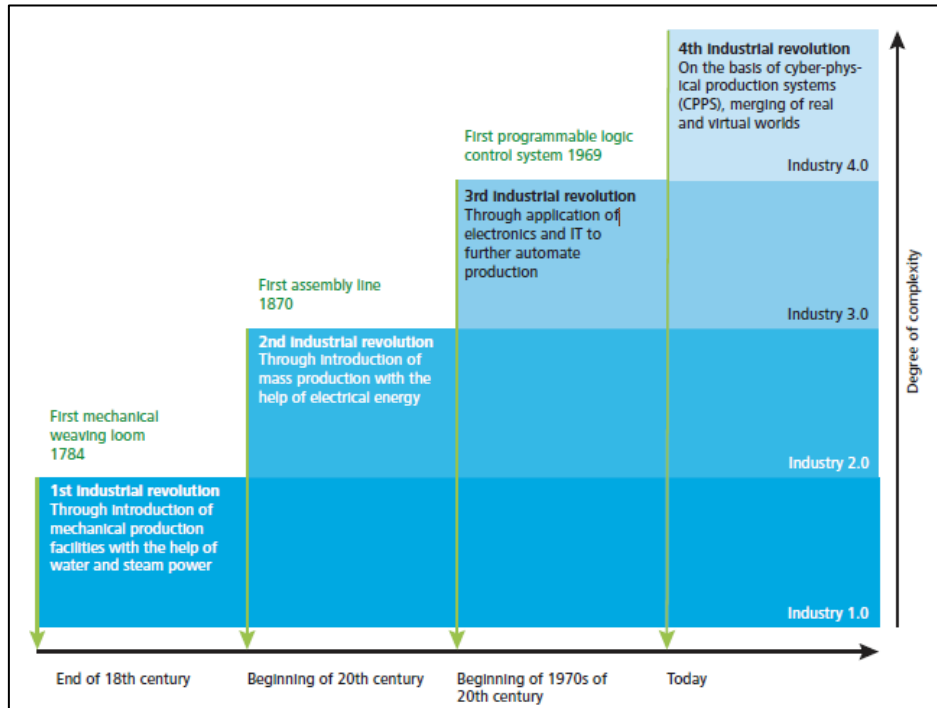


Figure 2. Industrial Revolution [2]

Thus, we must emphasize that today we are in the middle of where the fourth technological revolution and the birth of a new technology and digital industry known as Industry 4.0 Industry or intelligent. According to the transformation must be intensified by nine grounds of advanced technology [5], shown in Figure 3.

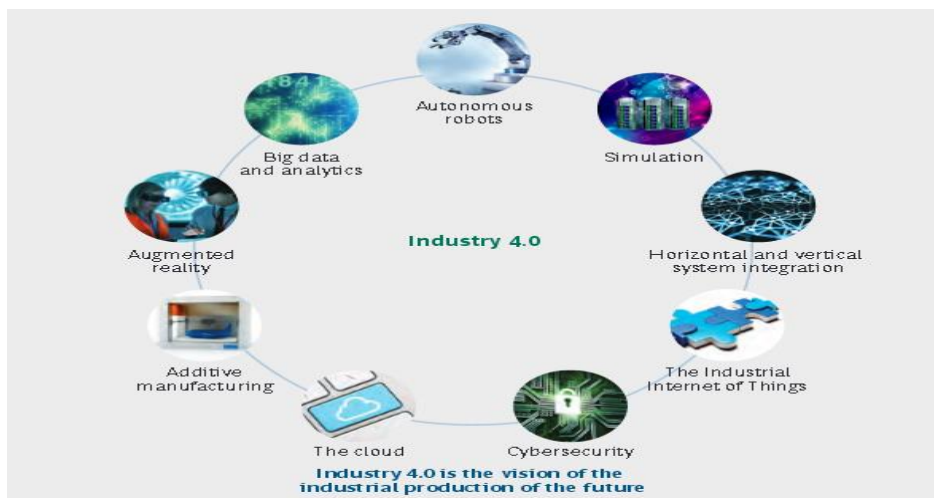


Figure 3. Industrial Revolution

For development of an Industry 4.0 environment, Deloitte developed a framework with the concepts that form the fourth industrial revolution interface, shown in Figure 4.

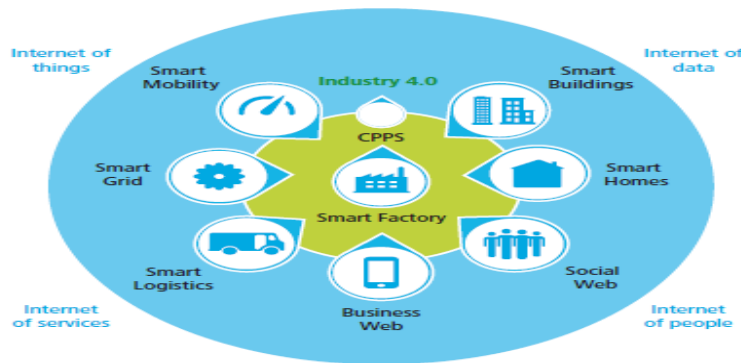


Figure 4. Nine technologies that transform the industrial production

The central importance of I4.0 is the interface between other intelligent infrastructure such as smart mobility, grid, logistics and intelligent buildings. As the links between business and social networks provide an important role in digital transformation.

1.3 Automation em Lean Manufacturing

With the advent of industrial technology and lean manufacturing needs, automation systems have become increasingly sophisticated seeking higher quality of products and processes and lower cost for customer demand service.

An automated assembly has a system of automated machinery material handling and assembly automatizadode a system to be successful, it takes major product design modifications. The appropriate product design for assembly by no human hands can not be applied directly to an automated assembly, because the capacity of human beings can not be played by machines [6]. For automated production systems are divided in three basic types as shown in Table 1 [7].

Table 1. Types of automation

Types of automation	Characteristics
Rigid automation	High initial investment in equipment; Higher production rates; Flexibility on the equipment in the room variety of production.
Programmable automation	High investment in equipment; Low production rates; Flexibility to deal with the variations and changes in the product; Highly adaptable for batch production.
Flexible automation	High investment in custom engineering system; Continuous production of a wide range of products; Flexibility to cope with changes in product design.

Second we consider nine reasons to automate a production system [7], they are: i) increase productivity; ii) Increasing productivity; iii) reducing production costs; iv) minimize the effects of the shortage of workers; v) Reducing or eliminating manual and administrative tasks routines; vi) To increase worker safety; vii) improve the quality of the product; viii) Decrease

production time; ix) perform processes that can not be performed manually; x) Avoid the high cost of no maintenance.

1.3.1 Integration between Automation Technology (AT) and Information Technology (IT)

In the present scenario many industrial automation projects are intertwined with information technology. The link between these technologies provides important data on the shop floor to management level.

The World Wide Web and the new information technologies allow greater integration of software and hardware systems beyond the borders of the company [8]. But the Web can be an inhibitor because it can pose security risks of the automated system, such as hackers and viruses. For the standardization and development of integration models of this system will need to expend much effort.

The most widely used AT and IT integration models are: Computer Integrated Manufacturing (CIM) or Computer Integrated Manufacturing and ISA-95 of the International Society of Automation or International Automation Society. The following is a summary of each model.

1.3.1.1 Computer Integrated Manufacturing (CIM)

For computer integrated manufacturing activities involving the processing of information that provide data and knowledge necessary to the successful manufacture of the product [7]. They are designed to perform four basic functions of production: i) business functions; ii) product design; iii) Production Planning; iv) Production control.

There is a hierarchical model of automation represented by a pyramid [9]. On the first level are the active output devices of the system from the controller commands. In the second level are the systems of individual drivers of industrial plant equipment.

Level 3 consists of the computers, with supervision order. At level 4 is done the total production control, production and programming. Finally, level 5 runs strategic planning, as shown in the hierarchical pyramid of Figure 5.

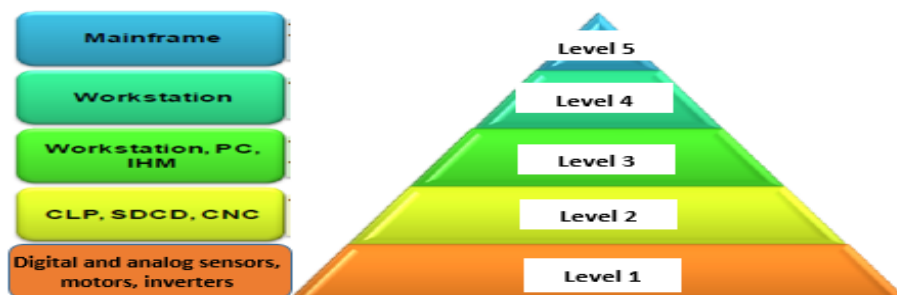


Figure 5. Types of automation

1.3.1.2 Computer Model ISA-95 (International Society of Automation)

The ISA-95 model is a standard for Control and Business Systems Integration which is applicable in continuous processes, batch and discrete. According to the ISA-95 2009 model and ISA-95 terminology manual can be used to generate information which will be exchanged between systems to production systems, finance and logistics, sales, maintenance and quality. The ISA-95 model consists of four levels [9]: i) Level 1: composed of the sensors of the plant; ii) Level 2 consists of the automation functions for monitoring and control equipment; iii) Level 3: This level consists of the functions of Manufacturing Execution System (MES) - scheduling,

allocation, resources, etc.; iv) Level 4: This level consists of the functions of the Enterprise Resource Planning (ERP) - scheduling, quality management, etc.

1.4 Logistics and supply chain

The logistics alone has a fundamental role in all organizations, since it is through it that makes it possible to supply the production with the raw materials needed, as well as supporting tools and other inputs to the processing phase. It is also responsible for controlling all the information flow of materials and information, including those that are received and/or sent to stakeholders. According to Logistics is that part of the supply chain process that plans, implements and controls the efficient, effective flow and storage of products, services and related information from the point of origin to the point of consumption in order to meet the needs of customers [10].

Already the supply chain is concerned mainly with the production, distribution and sales of physical products [11]. She is managed by means of information systems that facilitate the integration and sharing of information between the company and the chain itself. Such integration is built on four levels of functionality [12], are: 1) transaction systems; 2) managerial control; 3) analysis of decisions and 4) strategic planning, along with some major components as:

- Enterprise resource planning (ERP-Enterprise Resource Planning) or legacy systems;
- Communication systems;
- Execution systems;
- Planning systems.

The need for flexibility and changeability found in production, from the desire for individual products (customized products) and the growing influence in buying behavior by global trade and logistics, causes the I4.0 has a significant impact on logistics, mainly for being related to supply chain management considering the flow of information and materials [13]. In addition to this fact, it is directly related to evolution of identification of disturbance processes, both internally and outside, covering the entire value chain.

6. *Developement*

To facilitate the application of the implementation I4.0 in a particular organization, it has a model that assists in the identification of the implementation of this new industry in an organization [14].

2.1 *Application of an identification model of Industry 4.0*

The model prepared [14], shown in Figure 6, consists of five horizontal levels that are grouped by: technology, benefits and applications. This model is used to illustrate what the possible scenarios of Industry 4.0 application, ie, the implementation can only exist as the criteria levels are met.

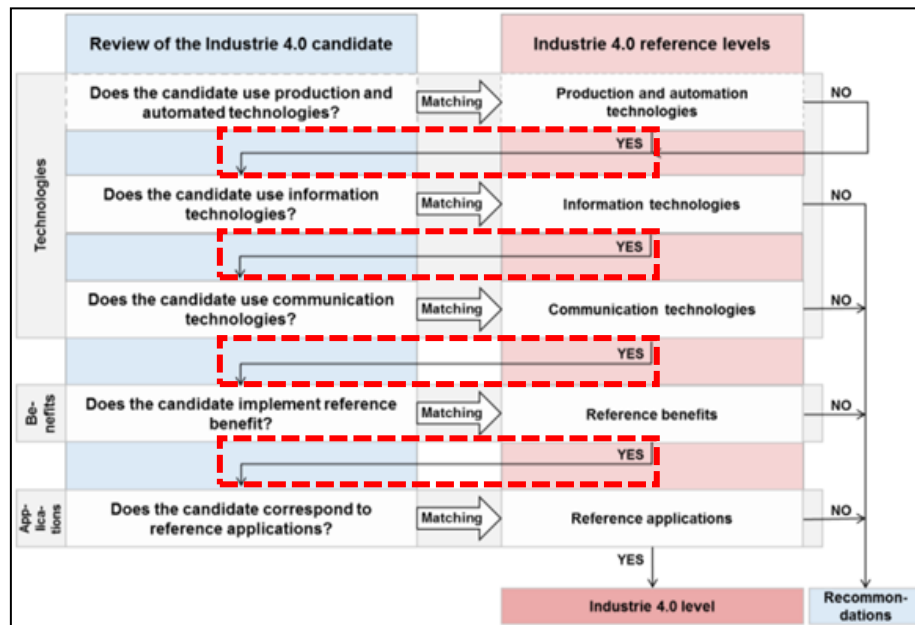


Figure 6. Model of level to identifying applications in Industry 4.0

Based on the study of the authors, they pose as essential that at least one criterion for each level, except the first, be entertained and there are three groups to be satisfied. The last two require a preliminary table for query, which are represented in Figures 7 and 8.

	High priority	Minor priority
Benefit	- Real-time capability - Security - Networking - Scalability - Transparency - Flexibility - Modularity - Decentralisation - Self-organisation - Autonomy - Remote diagnosis - Identifiability - Traceability - Monitoring - Energy efficiency - Assistance	- Shortening of development time - Intuitive operability - Flow of information to employees - Automation - High transfer rates - Shapeless workpiece manufacturing

Figure 7. Benefits references

	Human	Technology	Organization
Reference application group	Human-machine interaction	Networking	Value added
Reference applications	- Enable ageing- and ageappropriate working conditions - Expand the scope and the qualifications	- Intelligent products are information carriers, adressable and identifiable - Machines load data themselves to expand their capabilities	- Mediation of regional added value - Using a Suppliers-Cloud to find alternative suppliers in real time

Figure 8. Application references

2.2 Proposed framework for systems integration in the value chain

For all levels, the responses related to the current status of the supply chain were positive, as identified in Figure 3, whose explanation is demonstrated in Table 2.

To illustrate in which actors the technologies mentioned above are inserted along the chain, follows Figure 6, whose construction was based on data collected in an automotive company of the metropolitan region of Curitiba, PR.

Fit to add that the ERP (Enterprise Resource Planning) is in short a system integration and information management operational procedures, administrative and even an organization management [15]. For this, he was considered to be comprehensive across the supply chain, as the system that could unite all the others. However, this is not yet a reality within the context of I4.0.

Table 2. Explanation of answers.

Level	Answer	Description
1	Yes	The automation is increasingly present in the logistics scenario. <i>Example: there are available on the market use of tele stand-alone carriers in conjunction with information systems for use in stock, apart from self guided vehicles for transport of parts and stands as container handling pickings.</i>
2	Yes	Due to interface with the system of communication technology by means of devices and tracking system and connection to multisetores agents within the organization. <i>Example: using RFID (Radio-Frequency IDentification) chips to fellowship with ICT (Information and Communications Technology). Serves both for inventory, how to schedule production and PPC (Production Planning & Control).</i>
3	Yes	Because communication with the information system of production scheduling, as production sequencing and identification of necessary parts. <i>Exemple: Use of interns ICT (Information and Communications Technology) in conjunction with AGV (Automatic Guided Vehicle), to transport spare parts in stock for production lines.</i>
4	Yes	Main benefits granted
		Group 1 (high priority)
		Group 2 (low priority)
4	Yes	1) Flexibility: due to differentiation of the models as requested by client customization and need to reduce inventory to reduce costs. 2) Modularity: due to the supply of parts and components in kits as sequencing models, to gain in agility. 3) Monitoring: due to quality management, process mapping and control indicators (even with statistical reports generated by software). 4) Autonomy: taking into account the perfect shooting of internal
		1) Intuitive Operability: due to especifico. Alguns training systems require processes require constant updates and consequently new formations should be performed. 2) Flow of Information to Employees: because the information which is passed on to operators through information and communication systems.

		communication and information systems at the moment with the interface, when a piece is taken from stock, is automatically updated your quantity and at the right time a new application is requested via as to a supplier.	
5	Yes	<i>Main applications met</i>	
		Man-machine interaction	Technology
		Operations are built only with validation of ergonomics. <i>Example: using collaborative robots that can work in conjunction with an operator.</i>	Through the system of Information and Communications Technology (ICT) and connection to the multi sectors. <i>Example: Investments in automation of stocks, as the vertical automated inventory using teleporters and communication with an information system and/or RFID.</i>
			Organization
			N/A

From the results found in the above model, it was possible to draw up the framework for integration of systems and technologies along the supply chain chain of the manufacturing industry. The framework to integrate systems in the chain value of manufacturing is available in Figure 9.

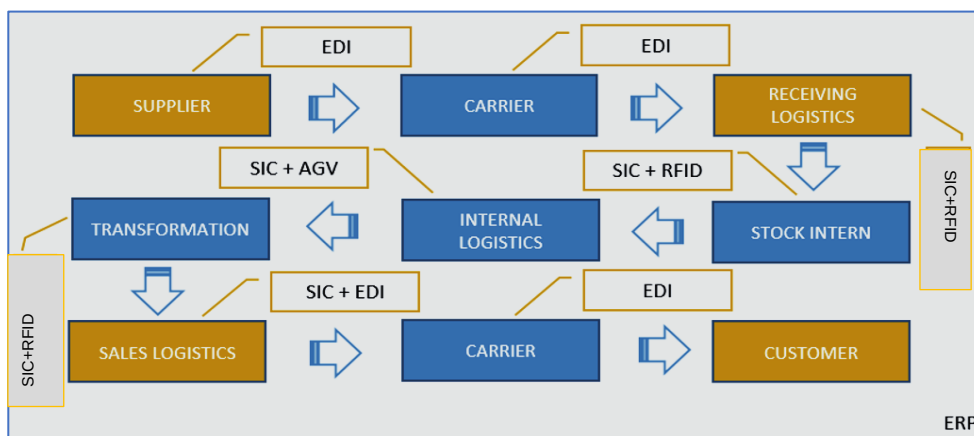


Figure 9. Framework to integrate systems in the chain value of manufacturing.

Conclusion

Field devices, machines, plants and factories will be increasingly connected to a network. They will be available as data objects on the network and can store data in real time. Therefore, they become searchable, exploitable, and response on the network [3]. This will lead to an explosion of objects and data available, accessible from anywhere. Despite the many benefits identified in the literature review, it is necessary to consider some points of attention to the implementation of I4.0 along the chain, because the process requires the integration of production, systems and management stakeholders. So that there is effective communication between all users and processes is necessary that the systems work with the same type of communication protocol (language) and this is a big challenge.

Another key factor to be considered is that process data require cloud storage, which imposes requirements like: agility of the transmission of information, storage, connection speed, virtual security in conjunction with confidentiality of information. However, according to scenario in which the Brazil, beyond the need for investment in transport, there's the matter of internet network infrastructure, such points would be a major obstacle to the implementation of successful I4.0, at least until the next developments.

However, according to scenario in which the Brazil, beyond the need for investment in transport, there's the matter of internet network infrastructure, such points would be a major obstacle to the implementation of successful I4.0, at least until the next developments in these fields.

References

- [1] G. Schuh, T. Potente, R. Varandani, T. Schmitz, *Global Footprint Design Based On Genetic Algorithms – An ‘Industry 4.0’ Perspective*, Conference on Industrial Product-Service Systems (CIRP) Annals – Manufacturing Technology 63, p. 433–436, 2014.
- [2] C. Ramsauer, *Industrie 4.0 – Die Produktion Der Zukunft*, WINGbusiness, p. 6-12, 2013.
- [3] R. Drath, A. Horch, *Industrie 4.0: Hit or Hype?*, IEEE Industrial Electronics Magazine, p. 56-58, 2014.
- [4] H. Lasi, H-G Kemper, *Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering*, p. 239-242, 2014.
- [5] M. RUBMANN, M. LORENZ, P. GERBERT, M. WALDNER, J. JUSTUS, P. ENGEL, M. HARNISCH. *Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries*, The Boston Consulting Group, 2015.
- [6] N. GAITHER, G. FRAZIER, *Administração da Produção e Operações*, Pioneira Thomson Learning 8th ed. São Paulo:, 2002.
- [7] M. GROOVER, *Automação Industrial e Sistemas de Manufatura*, 3th ed, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2011.
- [8] E. GELLE, T. E. KOCH, P. SAGER, *IT Asset Management Of Industrial Automation Systems*, Greenbelt: IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems. 2005.
- [9] C.T.Y. ZUGE, *Alinhamento Do Planejamento Estratégico Com O Plano Diretor Da Automação Industrial Em Pró Do Desenvolvimento Sustentável*, Tese de doutorado, p. 129, USP: São Paulo, 2014.
- [10] R. A. Moura et al, *Atualidades Na Logística*, vol. 2, IMAM, São Paulo, 2004.
- [11] D. -E. SIMCHI-LEVI, P. KAMINSKY, *Designing And Managing The Supply Chain*, 2000.
- [12] D. J. BOWERSOX, M. B. COOPER, D. J. CLOSS, *Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos*, Bookman, Porto Alegre, 2006.

- [13] M. HOMPEL, S. KERNER, *Logistik 4.0 - Die Vision Vom Internet Der Autonomen Dinge*, Informatik Spektrum, p. 176-182, 2015.
- [14] A. KIRAZLI, R. HORMANN, *A Conceptual Approach For Identifying Industrie 4.0 Application Scenarios*, Proceedings of the 2015 Industrial and Systems Engineering Research Conference, 2015.
- [15] *Portal do ERP*, O Que é o ERP, Accessed: 08.01.2016. [Online]. Available: <http://sistemaerp.org/>

APÊNDICE C

ARTIGO 3: SIMPEP, 2015

XXII SIMPEP, 2015, Bauru. FEB UNESP, 2015. v. 1. p. 1-15

Compatibilidade Da Indústria 4.0 No Setor Automotivo. Um Estudo De Caso Na Transformação De Veículos

NAIRANA APARECIDA ALBERTON DISNER - naidisner@hotmail.com
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA - PUC - PARANÁ

STEPHANIE WOLOVICZ DOH - stewolovicz_ep@hotmail.com
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA - PUC – PARANÁ

FERNANDO DESCHAMPS - fernando.deschamps@terra.com.br
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA - PUC – PARANÁ

Resumo: a indústria vem sofrendo alterações ao longo dos anos devido a necessidade de se adequar e a demanda com qualidade e eficiência. Essas mudanças são traduzidas pelas revoluções industriais movidas pelo capitalismo e globalização. Este artigo tem como objetivo rastrear as revoluções até o cenário atual, para acrescentar nesta linha do tempo o advento da 4ª revolução industrial ou chamada Indústria 4.0. Analisou-se por meio de case se o mercado de transformação de produtos do ramo automotivo era caracterizado por essa nova vertente tecnológica de acordo com aplicação em um modelo proposto por Kirazli e Hormann (2015). Conclui-se como resultado, que mesmo sendo um cenário propício à I4.0, no Brasil existem barreiras tecnológicas e relacionadas a infraestrutura que necessitam de grande evolução. Isto se deve ao fato da I4.0 ser também uma interligação entre toda a cadeia de suprimentos, atores indiretos e diretos da organização, além da comunicação com o mercado de vendas. Devido a essa conectividade, a comunicação global necessita de fatores como: estabilidade, agilidade e segurança, garantindo assim um funcionamento em total capacidade de nível de serviço. Por conseguinte, sugere-se melhorias no modelo utilizado e finaliza-se com algumas recomendações extraídas das lições aprendidas do estudo a fim de complementar os estudos existentes com experiências práticas.

Palavras-chaves: Revolução. Indústria 4.0. Indústria inteligente. Internalização. Transformação de veículos.

1. Introdução

Os sistemas de produção industriais vêm sofrendo evolução na história para se ajustarem as demandas dos cenários de mercado conforme progressos da globalização. O dinamismo e competitividade requerem por sua vez, avanços em diversas áreas, principalmente no nicho tecnológico.

Uma das consequências da globalização é a produção compartilhada de um produto, o qual pode ter peças, componentes, matéria-prima provenientes de várias partes do globo e sua instalação produtiva ocupar taticamente determinado país para exportação e importação e/ou pelo fato de se empregar mão de obra barata. Porém, como se vê nas empresas multinacionais,

há uma sede à qual todas as demais plantas lhe respondem de acordo com a estratégia e hierarquia organizacional do grupo. Sendo assim, sente-se a necessidade de controle das operações a longa distância, a fim de integrar cada vez mais estratégia e demanda por meio de tecnologias viabilizadoras que permitam gerenciar riscos e alavancar a performance das operações.

No presente artigo serão comentados os principais feitos das revoluções industriais com enfoque na 4ª Revolução Industrial, ou a chamada Indústria 4.0, também conhecida como Indústria Inteligente, a qual foi denominada pelos autores deste artigo como I4.

Kirazli e Hormann (2015) em seu artigo “*A conceptual approach for identifying Industrie 4.0 application scenarios*”, introduziram algumas das principais características da I4 e elaboraram um modelo para análise de cenários de uma indústria candidata com o objetivo de identificar se a mesma é propícia à implementação da I4. Tem-se como objetivo, portanto, testar tal método em uma montadora de veículos utilitários, cuja produção é caracterizada pelo sistema puxado, ou seja, só se produz conforme demanda, no qual desperdícios e custos com estoque são reduzidos. Na fábrica tem-se a produção de vans padronizadas, sendo que determinada porcentagem do volume é encaminhado para um fornecedor que realiza processo de personalização das mesmas, a fim de transformá-las, em sua grande maioria, em escolares, ambulâncias e veículos de turismo. Porém, o grupo tem como estratégia, internalizar esse processo a fim de reduzir lead time com cliente e absorver novos negócios. Logo, com o planejamento de internalização do processo de transformação, existe a oportunidade de verificar se tal processo é compatível com os preceitos da I4.

Com base nisso, o presente trabalho busca responder a seguinte questão de pesquisa: o processo de transformação de veículos é um candidato compatível ao cenário da I4? Adianta-se para o leitor, que o modelo proposto é designado para indústrias completas e não apenas para células, como é o caso dos transformados. Portanto, após a análise do modelo, será verificado se o mesmo utilizado é o suficiente para tal diagnóstico e será encerrado com considerações finais em relação às particularidades do processo e resultados atingidos.

2. Revisão da Literatura

Ao longo dos séculos cientistas e profissionais da área da manufatura se envolveram em buscar soluções e melhorias para os processos produtivos existentes em cada época, a história identifica três principais revoluções industriais. Segue resumo:

- 1ª Revolução Industrial: transição do trabalho manual para a produção de máquina e a criação do motor a vapor por James Watt em 1782;
- 2ª Revolução Industrial: início do fordismo (linha de montagem) por Henry Ford, do

taylorismo (controle dos movimentos) por Frederick Taylor e da energia elétrica;

- 3ª Revolução Industrial: avanços tecnológicos, como a automatização dos processos da produção através dos robôs industriais e as máquinas numericamente controladas (NC).

Com os avanços das revoluções industriais, foi possível otimizar de forma gradual os processos produtivos de modo a alcançar ganhos significativos nos objetivos de desempenho (custo, confiabilidade, flexibilidade, qualidade e rapidez) almejados de forma singular por cada organização. A frequência e a necessidade de inovação para tornar-se cada vez mais competitivo nos traz para a 4ª Revolução Industrial. A Figura 1 representa alguns dos principais avanços em cada uma das revoluções, incluindo a quarta.

A Indústria 4.0, têm a sua base como projeto estratégico de alta tecnologia do governo Alemão, cujo principal objetivo é a integração e interligação das tecnologias da internet nos processos de produção em rede, estabelecendo o produto e as máquinas como objetos ativos no processo produtivo, os quais poderão comunicar-se por meio de ferramentas da inteligência artificial e definir como o produto será fabricado.

De acordo com os autores Kirazli e Hormann (2015) essa revolução está sendo baseada na consolidação de mundos reais e virtuais no ambiente de fabricação em uma Fábrica Inteligente (Smart Factory), o qual é o elemento chave na Indústria 4.0.

Segundo Edson Perin (2015) tem-se que a Indústria 4.0 é fundamentada, também, por um segmento da chamada Internet das Coisas (IoT) e da comunicação Máquina para Máquina (M2M), atrelados ao uso de RFID (Radio Frequency Identification – Identificação por Rádio Frequência). Portanto, a Indústria 4.0 deve ser implementada de maneira interdisciplinar de modo que as áreas chaves possam estabelecer uma relação de cooperação entre si.

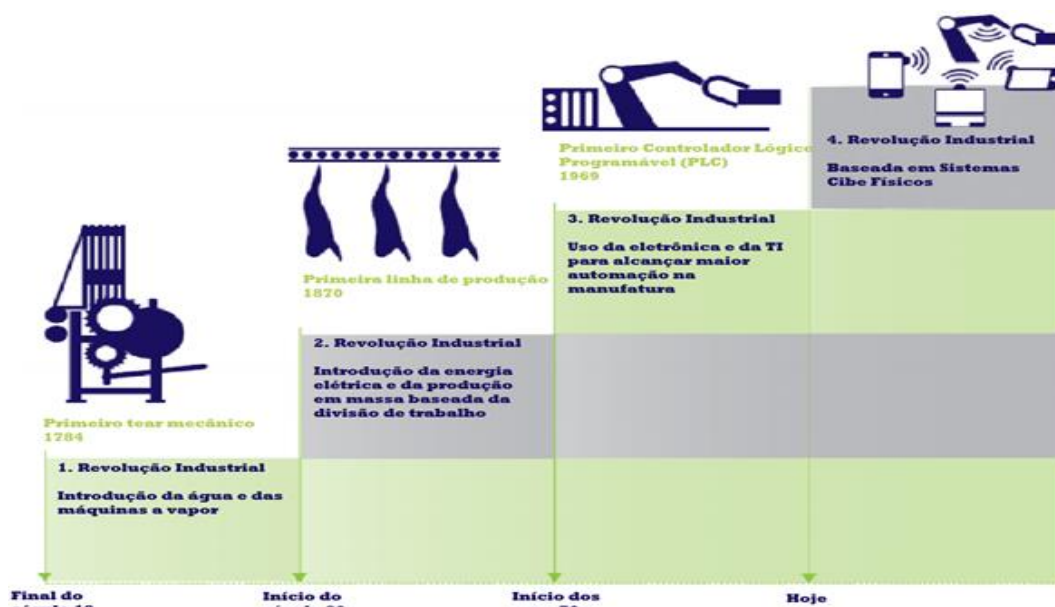


FIGURA 1 – Representação das revoluções industriais. Fonte: Traduzido de Kagermann et al. (2013).

Para melhor entendimento, os principais termos envolvidos no assunto serão definidos, como segue lista:

- I. Internet das Coisas (IoT): de acordo com Singer (2012), existem diversas definições do termo IoT, mas o termo genérico difundido define a IoT como sendo responsável pela designação dos processos que envolvam objetos conectados em rede e que produzam e/ou processem informação em tempo real e de forma autônoma. Mota e Batista (2013, p. 297), explicam que “as comunicações serão concebidas não apenas entre humanos, mas também entre humanos e coisas e entre coisas sem a interação com seres humanos”.
- II. Smart Factory (Fábrica Inteligente): segundo Gausemeier et al. (2014), as Fábricas Inteligentes são capazes de gerenciar a complexidade dos processos produtivos, são menos propensas a perturbações e são capazes de fabricar produtos de forma mais eficiente, pois os seres humanos, as máquinas e os recursos podem comunicar-se uns com os outros. De acordo com Kirazli e Hormann (2015), diferentemente da Indústria 4.0, as Fábricas Inteligentes não levam em consideração a cadeia de valor.
- III. Sistemas de produção ciber-físicos (CPPS): segundo Gausemeier et al. (2014), os CPPS compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenagem e de produção/instalações que foram desenvolvidos digitalmente e recursos end-to-end de integração, baseados nas tecnologias de informação, desde a logística de entrada à produção, comercialização, logística de distribuição e serviço. Ou seja, o CPPS é a criação de redes de CPS que, segundo Harting (2013, p. 3), “funciona de forma autônoma, quase totalmente amadurecido e presta serviços que em conjunto fazem o processo de produção mais flexível e eficiente”.

Portanto, o conceito da I4 está atrelado de forma única ao conceito da Smart Factory a qual utiliza dos artifícios da IoT e dos CPPS para que os recursos envolvidos nos processos produtivos possam comunicar-se entre si de forma instantânea, reportando informações necessárias ao processo produtivo e, com a análise dessas informações, seja possível tomar decisões sem a interrupção do processo. Segundo Gausemeier et al. (2014), a integração dos sistemas será de maneira horizontal e vertical, a primeira refere-se à integração dos vários sistemas de TI utilizados nas diferentes fases dos processos de planejamento de fabricação e de negócios que envolvem a troca de materiais, energia e informação, tanto dentro de uma empresa e entre diversas empresas, fornecendo assim uma solução end-to-end (ponta a ponta).

A integração vertical refere-se à integração dos diversos sistemas de TI nos diferentes níveis hierárquicos (por exemplo, o atuador e sensor, controle, entre outros), a fim de entregar uma solução também end-to-end. A Figura 2, ilustra a forma como os elementos se interligam.

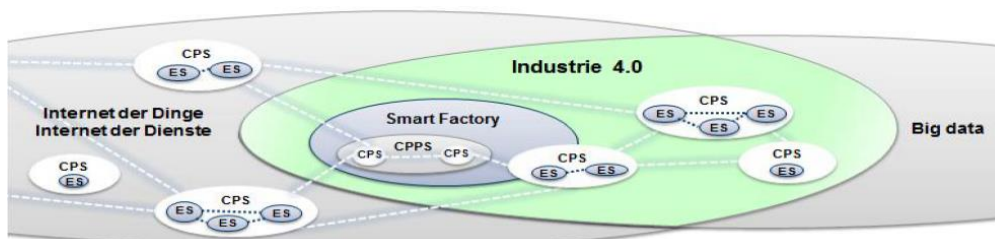


FIGURA 2 – Integração entre os elementos. Fonte: Traduzido de Kirazli e Hormann (2015).

Kagermann et al. (2013), acredita que a I4 envolverá a integração técnica dos CPPS na fabricação e logística e a utilização da Internet das Coisas e Serviços em processos industriais. Isto terá implicações para o valor agregado, modelos de negócios, serviços e organização do trabalho, trazendo consigo o conceito de produtos inteligentes que são definidos por Gausemeier et al. (2014), como sendo produtos que conhecem os detalhes de como eles foram fabricados e como eles serão utilizados, assim os mesmos podem responder a perguntas como: Como eu devo ser feito? Quais parâmetros devem ser usados para os meus processos? Onde eu devo ser entregue? Assim, é possível identificar que a I4, traz consigo alguns benefícios difíceis de serem alcançados com as tecnologias e métodos de trabalho que se tem hoje, visto que com a integração e comunicação de todos os sistemas existentes dentro da organização torna-se fácil ter informações mais rápidas e, conseqüentemente, ter uma tomada de ação rápida e assertiva.

Outro benefício, é o fato do próprio produto saber qual são suas configurações, como ele deve ser produzido, pois assim, quando ele identificar que algo está fora da especificação poderá informar ao responsável o erro e até mesmo enviar uma notificação de erro para um sistema de gestão para, por exemplo, que o parâmetro seja ajustado de forma automática. Com isso, o operador que antes deveria estar todo o tempo envolvido no processo de maneira a identificar esses pontos entre outras atividades, poderá agora estar responsável pela qualidade do processo e do produto, agregando maior valor ao produto final e trazendo maior satisfação em relação as suas funções e atividades.

Segundo Edson Perin (2015, p.1), a I4 “aponta para uma evolução dos sistemas produtivos industriais, com benefícios como a redução de custos, a economia de energia, o aumento da segurança, a conservação ambiental, a redução de erros, o fim do desperdício, a transparência nos negócios, o aumento da qualidade de vida e a personalização em uma escala sem precedentes”. Gausemeier et al. (2014), destaca alguns outros benefícios como: maior flexibilidade e robustez em conjunto com os mais altos padrões de qualidade em engenharia; planejamento; fabricação, operação e processos logísticos; condução do aparecimento de dinâmica, em tempo real otimizado; o valor de auto-organização das cadeias que podem ser otimizadas com base numa variedade de critérios como: custo, disponibilidade e consumo de recursos. A Figura 3, representa como as indústrias funcionarão com o advento da I4.

Exemplo de esquema de uma fábrica do futuro

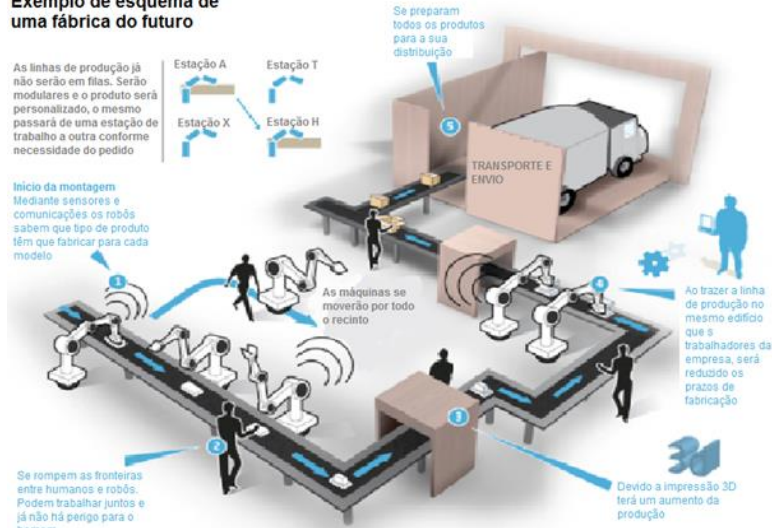


FIGURA 3 – A fábrica do futuro. Fonte: Traduzido de Climent (2014).

Para facilitar a implementação da I4 em determinada organização, os autores Kirazli e Hormann (2015), conforme mencionado na introdução do presente artigo, elaboraram um modelo que auxilia na identificação da implementação da I4 em uma organização, o qual será explicado e testado no próximo tópico.

3. Modelo para identificação das aplicações da Indústria 4.0

O modelo elaborado por Kirazli e Hormann (2015), representado na Figura 4 (a qual não foi traduzida para preservar a síntese dos autores), é composto por cinco níveis horizontais que são agrupados por: tecnologia, benefícios e aplicações. De acordo com os autores, este modelo é usado para ilustrar visualmente quais os cenários possíveis de aplicação da Indústria 4.0, ou seja, a implementação só pode existir enquanto os critérios dos níveis forem satisfeitos.

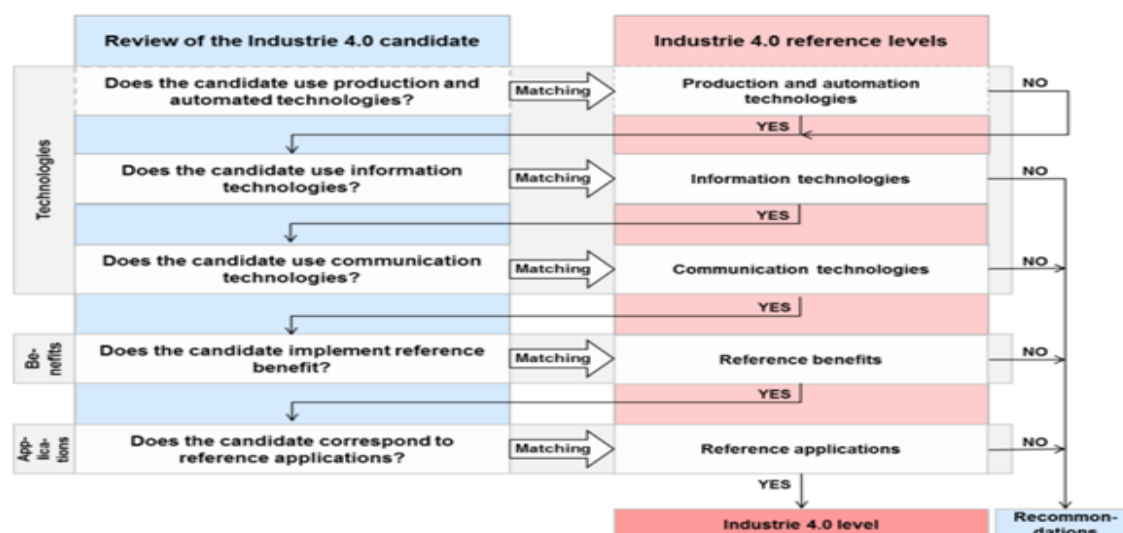


FIGURA 4 – Modelo de nível de identificação das aplicações da Indústria 4.0. Fonte: Kirazli e Hormann (2015).

Com base no estudo dos autores, eles colocam como essencial que pelo menos um critério de cada nível, exceto do primeiro, seja atendido e há três grupos a serem satisfeitos, sendo que os últimos dois necessitam de uma tabela preliminar para consulta, as quais estão representadas nas Figuras 5 e 6.

	Alta Prioridade	Baixa Prioridade
Benefícios	Capabilidade de tempo real Segurança Networking Escalabilidade Transparência Flexibilidade Modularidade Descentralização	Auto organização Autonomia Diagnóstico Remoto Identificação Rastreabilidade Monitoramento Eficiência energética Assistência
		Redução do tempo de desenvolvimento Operabilidade intuitiva Fluxo de informação para funcionários Automação Altas taxas de transferência Fabricação de peças disformes

FIGURA 5 – Referências de benefícios. Fonte: Traduzido de Kirazli e Hormann (2015).

	Humanos	Tecnologia	Organização
Grupo de referência de aplicação	Interação homem-máquina	Networking	Valor agregado
Referência de aplicações	Dispor condições de trabalho apropriadas ao longo do tempo Expansão do escopo e qualificações	Produtos inteligentes repassam informações endereçáveis e identificáveis Dados de carga máquina próprios para expansão da capacidade	Medição de valor agregado Usar fornecedores em nuvem para encontrar fornecedores alternativos em tempo real

FIGURA 6 – Referências de aplicações. Fonte: Traduzido de Kirazli e Hormann (2015).

Com o intuito de testar a aplicabilidade do modelo, será utilizado o cenário correspondendo ao processo de transformação veículos utilitários para o modelo escolar, os quais são denominados de transformados.

4. Aplicação do modelo no processo de transformação

Na indústria automotiva a transformação de produtos é caracterizada pela personalização de veículos conforme especificidade do cliente final e nicho de mercado. Tem-se a produção de veículos denominados especiais como viaturas de polícia, ambulâncias, escolares, entre outros e qualquer característica original do veículo pode ser modificada ou transformada, desde que seja concedida pelo DETRAN/CIRETRAN, a autorização prévia descrita no artigo 98 da [lei nº 9503 de 23/09/97](#). Nesta pesquisa será abordada a transformação de vans originais de fábrica em escolares.

Como mencionado na introdução, a empresa tem o objetivo de internalizar esse tipo de processos, o qual atualmente é realizado por uma terceirizada. Para isso foi realizado um estudo de viabilidade econômica dessa internalização. Em termos de tempos de produção e mão de obra, foi utilizado o método TMU (para estudo do tema, sugere-se consultar a obra *Administração da Produção*, listada nas referências no final do artigo) para medição de tempos

de ciclo com o complemento dos dados resultantes da simulação realizada no software Arena. A Figura 7 ilustra um dos relatórios gerados pelo próprio software, no qual verifica-se que se demandaria um tempo médio de 2,6 horas para produção de 1 unidade, com 3 operadores, ou seja, se faz possível prever a capacidade do atelier, mão de obra e número de estações necessárias.

Foi realizado também um plano de implantação no qual o tempo até efetivo início da produção seria de 48 dias. Porém, nesse planejamento não se considerou questões burocráticas da empresa, ou seja, fatores que não agregam valor. Somando-se estas questões o tempo eleva-se para 14 semanas.

08:27:48

Entities

junho 30, 20

Unnamed Project

Replications: 1

Replication 1

Start Time: 0.00

Stop Time: 7.50

Time Units: Hours

Entity 1

Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Total Time	2.5985	(Insufficient)	1.7842	3.8803
VA Time	2.1254	(Insufficient)	1.7099	2.7618
Wait Time	0.4064	(Insufficient)	0.00	1.3441
Transfer Time	0.06666667	(Insufficient)	0.06666667	0.06666667
Other Time	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
NVA Time	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Other	Value			
Number In	18			
Number Out	11			
WIP	5.5333	(Insufficient)	0.00	9.0000

FIGURA 7 – Print screen de Relatório da simulação do processo de transformação. Fonte: Autores (2015).

O processo de transformação tem como proposta ser introduzido dentro da própria fábrica de montagem dos veículos utilitários em uma célula única como uma espécie de atelier. Porém, sabe-se que toda internalização possui pontos positivos e negativos em relação a processos, custo e qualidade que devem ser considerados para tomada de decisão do investimento. Para o caso dos transformados, segue Quadro 1 apresentando os principais fatores envolvidos neste processo, classificando-os em termos de vantagem e de barreiras.

VARIÁVEL	VANTAGEM	BARREIRAS	MOTIVO
Participação de mercado	X		• Aumento de vendas; • Conquista de nichos diferentes; • Amadurecimento da indústria.
Satisfação do cliente	X		• Proximidade com consumidor; • Contato pós-venda; • Pesquisas de satisfação; • Qualidade percebida.
Inovação	X		• Estratégia organizacional; • Contribuição para tornar-se benchmark
Implantação		X	• Tempo para estudos de viabilidade; • Aquisição de recursos para implantação; • Projeto para diversificação; • Alinhamento com estado atual e projeções de melhoria.
Processos		X	• Novos procedimentos; • Treinamento; • Falta de conhecimento e expertise; • Tempo de reação.
Mão de obra		X	• Contratação de mão obra qualificada; • Treinamentos específicos.
Desempenho		X	• Criação de procedimentos; • Documentação; • Definição de indicadores; • Medições de performance; • Planos de contingência.

QUADRO 1 – Fatores de vantagem e desvantagem na internalização de transformados. Fonte: Autores (2015).

O processo de transformação, em suma, ocorre da seguinte maneira: o pedido é recebido ou concedido através de uma licitação e enviado a gerência de um estúdio localizado dentro do próprio espaço físico da fábrica/montagem dos veículos utilitários, e nesse estúdio são realizadas algumas transformações conforme configurações oriundas do pedido.

Aplicando o método proposto por Kirazli e Hormann (2015) no processo de transformação, obteve-se o resultado apresentado na Figura 8, cujas observações de cada nível estão dispostas na Tabela 1.

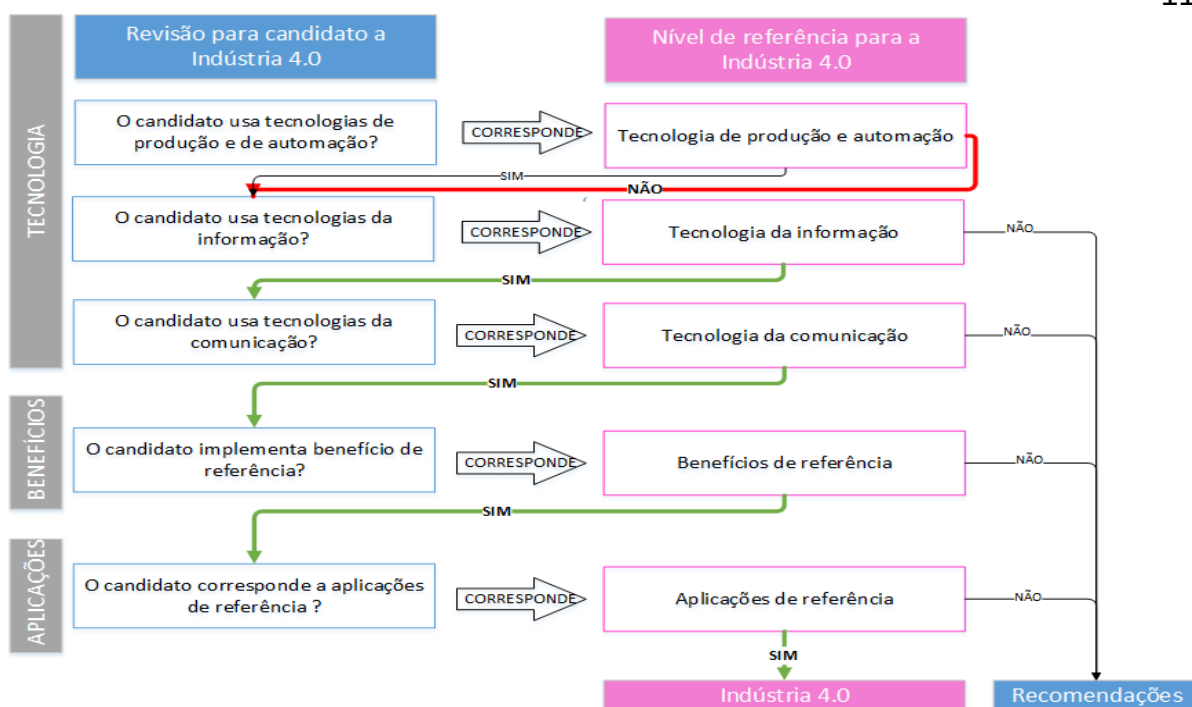


FIGURA 8 – Modelo aplicado ao processo dos transformados. Fonte: Autores (2015).

TABELA 1 – Explicação da resposta obtida em cada nível do modelo.

Nível	Resposta	Observação
1	NÃO	Por ser um atelier de transformação os processos são, em geral, realizados de forma manual pelos operadores com o auxílio de ferramentas, sem a existência de processos automatizados.
2	SIM	Devido a interface com o sistema de tecnologia da comunicação por meio de dispositivos e sistema de rastreamento e conexão com agente multisetores.
3	SIM	Devido a comunicação com o sistema de informação da programação da produção e sequenciamento dos modelos a serem transformados.
4	SIM	<i>Principais benefícios atendidos</i>
		Grupo 1 (alta prioridade) Grupo 2 (baixa prioridade)
		1) Flexibilidade: devido a diferenciação dos modelos conforme customização requisitada pelo cliente. 2) Modularidade: devido ao abastecimento dos componentes e peças em kits correspondentes ao modelo que será transformado. 3) Monitoramento: devido a gestão da qualidade e mapeamento de processos. 4) Autonomia: devido a produção ser personalizada e ser caracterizada pelo método manual em atelier, os operadores 1) Operabilidade intuitiva: devido aos processos exigirem treinamento específico, porém não são caracterizados por complexidade e sim por destreza, polivalência e conhecimentos empíricos. 2) Fluxo de informações para funcionários: devido as informações as quais são repassadas aos operadores através dos sistemas de informação e comunicação.

		são multifuncionais e lhes são atribuídas autonomia das decisões.	
5	SIM	<i>Principais aplicações atendidas</i>	
		Interação homem-máquina	Tecnologia
		As operações são construídas somente com validação do setor de ergonomia.	Por meio do sistema de informação e comunicação (TIC) e conexão com os multisetores.
			Organização
			N/A

Fonte: Autores (2015)

Na Figura 8, fica evidente que o processo de transformação resultou em comportamento favorável a I4. Porém, devido ser um tema pouco recente e com poucas implementações, tem-se a necessidade de alguns cuidados e análises a priori como os descritos na próxima seção.

5. Conclusão

Para conclusão, obteve-se resposta positiva à questão de pesquisa na aplicação do modelo, porém ressalta-se a importância de análises mais específicas de caráter técnico para posterior implementação e adaptação do modelo, visto que o mesmo está considerando a validação dos cenários propícios à I4 para uma indústria como um todo e não apenas para uma célula, como é o caso dos transformados. Além desse ponto, a necessidade das análises se deve à I4 ser uma concepção de estratégia de negócio inovadora, ter poucos benchmarks e estar em processo de estudo e difusão.

Portanto, apesar dos inúmeros benefícios identificados na Revisão da Literatura, se faz necessário considerar alguns pontos de atenção com a implementação da I4 no atelier, pois o processo pode sofrer algumas turbulências e ter alguns pontos de entrave, principalmente, pelo fato da necessidade de integração entre sistemas produtivos e gerenciais e os stakeholders. Ou seja, todos devem estar conectados com a nova concepção de negócio e alinhados em termos de infraestrutura, uma vez que haja comunicação eficiente entre todos os processos e usuários

se faz necessário que os sistemas trabalhem com o mesmo tipo de protocolo (linguagem) de comunicação, afinal, cada sistema tem sua particularidade.

Outro fator fundamental a ser considerado é que dados de processo necessitam de armazenamento em nuvem, o que impõe que sejam satisfatórios requisitos como: agilidade da transmissão das informações, espaço de armazenamento, velocidade de conexão e segurança virtual em conjunto com confidencialidade das informações, entre outros requisitos. Todavia, de acordo com cenário no qual o Brasil se encontra em questão de infraestrutura de rede de internet, tais pontos seriam um grande entrave para a implementação de sucesso da I4, pelo menos até as próximas evoluções nesse campo.

Outro impasse também correlacionado a isto, é que a I4 tem em sua base a conexão com vários outros sistemas dentro da própria organização e com os sistemas dos demais stakeholders. Logo, a implementação e a manutenção de toda a infraestrutura tornam-se pontos cruciais para o sucesso, assimilando-se esse sistema a um círculo de dados interligados por conexões lógicas e interdependentes no qual ao se romper qualquer uma delas tem-se a interrupção do fluxo de informações, perdendo-se a precisão dos dados e contribuindo com a instabilidade do processo.

Em suma, acrescenta-se como contribuição de pesquisa, que no modelo à ser melhor aplicado a uma célula, é necessário introduzir aspectos como: a) subnível no modelo para validação de como será a comunicação sistema para sistema, sistema para produtos e sistema para pessoas; b) análise do quão eficiente é a infraestrutura da internet no país em que a organização reside; c) subnível do plano de manutenção dos sistemas envolvidos nos processos e; d) tornar o modelo mais detalhado em cada nível, pois com condições de validação amplas, torna-se fácil não captar pontos importantes para a implementação da I4 como, por exemplo, quais processos são automatizados na célula; como a célula se comunica com a indústria, entre outros fatores.

Outros pontos importantes a serem adicionados ao modelo para a aplicação não somente em células, mas em indústrias, são: a) definir uma pontuação para cada benefício e aplicação de referência (Figuras 5 e 6), por meio de um estudo, considerando quais desses benefícios e aplicações são viáveis à implementação da I4, considerando-os separados e em conjunto; b) sistemas de gestão de qualidade das entradas e saídas das informações do processo para controle da veracidade dessas; c) nível que considere módulos de gestão em cada fase do processo produtivo, considerando toda a cadeia de valor, a fim de monitoramento de todos os processos pelos quais o produto deve passar, pois assim caso ocorra algum problema ou erro em alguma atividade facilita na coleta de informações, planos de reação e difusão interna das soluções.

A respeito de lições aprendidas do trabalho, pode-se questionar a validação do estudo em se tratando de ser uma análise sobre um projeto de fábrica, no qual os dados de entrada para uso no modelo foram obtidos através do estudo preliminar da viabilidade de implantação do atelier dos transformados. Ao se comparar o estudo levantado neste artigo com o que se teria na prática, tem-se a probabilidade de os resultados serem divergentes, visto que ao se trabalhar em uma situação real, tem-se a vantagem dos fatos e dados serem manipulados com o auxílio de conhecimentos empíricos.

Sugere-se então para trabalhos futuros cases em empresas que tenham de fato adotado a I4, considerando: 1) se o modelo dos autores Kirazli e Hormann (2015) é eficiente para analisar a viabilidade da implementação da I4; 2) senão, quais alterações o modelo deve sofrer; 3) quais os benefícios concebidos a partir da I4; 4) quais os pontos que precisam de melhoria após a implementação e; 5) qual o perfil do profissional que será requisitado na era da Indústria Inteligente.

Referências

BRASIL. Decreto-lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Código de Trânsito Brasileiro**. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/ctb.htm>>. Acesso em: 09 jul. 2015.

CAVALCANTE, Zedequias Vieira; SILVA, Mauro Luis Siqueira. A importância da revolução industrial no mundo da tecnologia. **VII EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica**, Maringá, 2011.

Disponível em: <http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2011/anais/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2015.

CLIMENT, María. Así es la fábrica del futuro y así volverá a Europa. **El Mundo**, Espanha, 25 out. 2014. Disponível em: <<http://www.elmundo.es/economia/2014/10/24/54494bf1e2704ec91c8b456c.html>>. Acesso em: 09 jul. 2015.

GAUSEMEIR, Jorgen; DUMITRESCU, Roman; JASPERNEITE, Jorgen; KUHN, Arno; TRSEK, Henning. Auf dem Weg zu Industrie 4.0: Lösungen aus dem Spitzencluster it's OWL. **Das Technologie-Netzwerk: Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe**. Paderborn, 2014. Disponível em: <http://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/Industrie_4.0/Auf_dem_Weg_zu_Industrie_4.0_-_Loesungen_aus_dem_Spitzencluster_its_OWL_RGB.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2015.

HARTING, Philip. A quarta revolução industrial exigirá coragem. **Revista tec.News**. Espelkamp, nov.2013. Disponível em: <http://www.harting.com.br/fileadmin/harting/documents/lg/hartingtechnologygroup/news/tec-news/tec-news25/331213j_Harting_PT_BR.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2015.

KAGERMANN, Henning. WAHLSTER, Wolfgang. HELBIG, Johannes. **Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic**

initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt: National Academy of Science and Engineering, 2013.

KIRAZLI, Alev; HORMANN, Ricardo. A conceptual approach for identifying Industrie 4.0 application scenarios. **Proceedings of the 2015 Industrial and Systems Engineering Research Conference.**

MOTA, Rafael Perazzo Barbosa; BATISTA, Daniel Macêdo. Um mecanismo para garantia de QoS na Internet das Coisas com RFID. **31º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos – SBRC.** São Paulo, 2013.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços).** Curitiba: Unicenp, 2007. 750 p.

PERIN, Edson. A RFID é a base da Indústria 4.0. **RFID Journal Brasil.** 2015. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/notas-do-editor/vision?13025>>. Acesso em: 04 jul. 2015.

SINGER, Talyta. Tudo conectado: conceitos e representações da Internet das Coisas. **Simpósio em Tecnologias Digitais e Sociabilidade – SIMSOCIAL.** Salvador, 2012.