

MESTRADO
GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
DISSERTAÇÃO

**A RELAÇÃO ENTRE LEAN MANUFACTURING E INDÚSTRIA 4.0:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.**

JEFFERSON PINHEIRO PINTO

MAIO - 2020

MESTRADO EM
GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
DISSERTAÇÃO

**A RELAÇÃO ENTRE LEAN MANUFACTURING E INDÚSTRIA 4.0:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.**

POR: JEFFERSON PINHEIRO PINTO

DISSERTAÇÃO APRESENTADA COMO REQUISITO
PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL, UNIVERSIDADE DE
LISBOA.

ORIENTAÇÃO:

BERNARDO SARDINHA DE MELO PIMENTEL DE OLIVEIRA

MAIO - 2020

Resumo

Esta dissertação teve por objetivo revisar e sintetizar a literatura sobre a relação entre *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0. Mais especificamente, se pretendeu demonstrar quais desenvolvimentos nos últimos 10 anos no tocante às ferramentas e técnicas *Lean Manufacturing* diretamente relacionadas às aplicações tecnológicas da era da 4ª revolução industrial. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, através do estudo de 22 artigos publicados em fontes relevantes entre 2009 e 2019 que abordam *Lean Manufacturing* no contexto da Indústria 4.0. A partir da análise de dados foi possível constatar que as abordagens *Lean* mais comuns, relacionadas à Indústria 4.0, são *Lean Manufacturing* e *Lean Production*, cada uma com 7 materiais que as abordam. Além disso, foi possível descobrir que as principais ferramentas e técnicas *Lean* correlacionadas diretamente com a Indústria 4.0, em termos de quantidade de citações diretas cruzadas foram: *Kanban* (9), *Heijunka* (9), Trabalho Padronizado (8), *Kaizen* (8), *Just-In-Time* (8) e *Jidoka* (6) e que as tecnologias predominantemente correlacionadas à *Lean* foram: Integração Horizontal (12), *Analytics* (9), Integração Vertical (8), *Big Data* (7), Realidade Aumentada (7), Sensores e Atuadores (6), *Cloud Computing* (6), Realidade Virtual (6). Enfim, por meio de todo o estudo realizado foi possível confirmar que *Lean Manufacturing* tem relação com a Indústria 4.0, pois seus componentes podem ser associados, mas tal relação tem sido objeto de pesquisa recente e carece de maior investigação.

Palavras-Chave: *Lean Manufacturing*, *Lean Production*, Manufatura Enxuta, Indústria 4.0, 4ª Revolução Industrial, Revisão Sistemática da Literatura.

Abstract

This dissertation aimed to review and synthesize the literature on the relationship between Lean Manufacturing and Industry 4.0. More specifically, it was intended to demonstrate what developments in the last 10 years regarding Lean Manufacturing tools and techniques directly related to the technological applications of the 4th industrial revolution era. To this end, a systematic review of the literature was conducted through the study of 22 articles published in relevant sources between 2009 and 2019 that address Lean Manufacturing in the context of Industry 4.0. From the data analysis it was possible to see that the most common Lean approaches related to Industry 4.0 are Lean Manufacturing and Lean Production, each with 7 materials that address them. In addition, it was possible to discover that the main Lean tools and techniques correlate directly with Industry 4.0, in terms of number of direct cross-quotes were: Kanban (9), Heijunka (9), Standardized Work (8), Kaizen (8), Just-In-Time (8) and Jidoka (6) and that the technologies predominantly correlated to Lean were: Horizontal Integration (12), Analytics (9), Vertical Integration (8), Big Data (7), Augmented Reality (7), Sensors and Actuators (6), Cloud Computing (6), Virtual Reality (6). Finally, through the whole study it was possible to confirm that Lean Manufacturing has a relationship with Industry 4.0, because its components can be associated, but such relationship has been the object of recent research and needs further investigation.

Keywords: Lean Manufacturing, Lean Production, Industry 4.0, 4th Industrial Revolution, Systematic Literature Review.

Agradecimentos

Sou grato a Deus pelo meu passado e presente e confio nele para que meu futuro, ainda que nem sempre mereça, que continue sendo repleto de muita força, foco e fé! Minha vida nunca foi fácil em qualquer que seja o assunto, pelo que agradeço à minha família por ser meu berço de aprendizado sobre a prática de valores que trago até hoje. Meus primos e vizinhos me ensinaram a importância da amizade e do grupo.

Especial agradecimento à minha avó, Dona Rozilda Juvêncio da Silva (em memória), por ter me ensinado valores importantes de forma excelente: pelo exemplo.

Tive a sorte de ter algumas mães, que me ajudaram em muitas situações: Regina, Jael e Rose – nunca vou conseguir retribuir o quanto fizeram e fazem por mim!

Ao meu tio “Isaque”, por provar que o talento não enxerga limitações.

À minha “principal” mãe, Débora da Silva, meu muito obrigado por sempre desembaçar meus olhos quando as lágrimas me impediam de ver que a vida continua. Também constituí minha própria família, pelo que agradeço à minha esposa, Elaine Melo, por me incentivar a continuar em busca dos meus sonhos, por cuidar de mim, por me ajudar a ver o mundo de forma mais positiva e leve e, claro, por ser uma mãe tão dedicada para as nossas filhas. Sei que atrás desse homem existe uma pequena grande mulher!

E por falar em pequenas, agradeço pela bênção de ser pai da Mariana Melo (hoje com 8 anos) – que parece ter herdado o gosto pela leitura, e da Luísa Melo (hoje com 5 anos), que me prova diariamente que nossa vida deve ser vivida intensamente!

Na vida tive alguns poucos amigos, cuja participação na minha formação como pessoa foram fundamentais. Porém, o Carlos Eduardo Sanches, não contente com o título de melhor amigo, prestou uma ajuda fundamental, que sem a qual talvez eu não fosse capaz de concluir este curso.

Agradeço aos meus colegas de trabalho – os antigos e os atuais –, pois eles é que acompanharam meu desenvolvimento profissional em pormenor e, na sua grande maioria, foram ótimas pessoas com quem aprendi muito.

Também sou grato aos meus colegas de curso – deste e dos tantos outros –, pois a reflexão, entajuda e companheirismo também são importantes nestes contextos.

Agradeço aos meus professores – desde os que me ensinaram a ler, aos que me ensinaram sobre estratégia e gestão industrial –, pois me ensinar não é tarefa fácil e os admiro pelo exercício de tão nobre profissão.

Lista de Figuras

Figura 1 - Busca por Lean Manufacturing, Lean Production e Industry 4.0: 2009 - 2019	13
Figura 2 - "Casa STP"	15
Figura 3 - Convergência dos mundos digital, físico e biológico.....	19
Figura 4 - <i>Lean</i> na linha do tempo das revoluções industriais.....	20
Figura 5 - Fluxograma dos passos seguidos nas fases 3 e 4.....	24
Figura 6 - Distribuição Percentual do Tipo de Material Incluído	25
Figura 7 - Quantidade, por ano, de artigos incluídos.....	26
Figura 8 - Fontes Classificadas Por Quantidade De Obras Incluídas	26
Figura 9 - Participação Percentual dos Autores nas Obras Incluídas no Estudo	27
Figura 10 - Nacionalidade das Instituições dos Autores Principais	27

Lista de Tabelas

TABELA I - METODOLOGIA EMPREGUE NESTA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	21
TABELA II - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS UTILIZADOS.....	28
TABELA III - COMPONENTES LM E SUA CORRELAÇÃO DIRETA COM I 4.0	36
TABELA IV - TECNOLOGIAS I 4.0 E SUA CORRELAÇÃO DIRETA COM COMPONENTES LM	39

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	<i>LEAN MANUFACTURING</i>	15
2.2	<i>INDÚSTRIA 4.0</i>	18
3.	METODOLOGIA.....	21
4.	ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	31
5.	CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS	42
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

“Não temos a escolha de quando ou onde o progresso tecnológico irá parar. Não podemos desacelerar. Na verdade, temos de acelerar. Nossa tecnologia nos ajuda a remover dificuldades e dúvidas de nossas vidas, e por isso devemos procurar pelos mais difíceis e mais incertos desafios. Máquinas possuem cálculos. Nós possuímos compreensão. Máquinas possuem instruções. Nós possuímos propósito. Máquinas possuem objetividade. Nós possuímos paixão. Não devemos nos preocupar com o que nossas máquinas podem fazer hoje. Como alternativa, devemos nos preocupar com o que ainda não podem fazer, pois precisaremos da ajuda das mais novas e inteligentes máquinas para tornar nossos maiores sonhos em realidade. Se falharmos, não será por conta de nossas máquinas serem muito inteligentes ou insuficientemente inteligentes. Se falharmos, será porque crescemos complacentes e limitamos nossas ambições. Nossa humanidade não é definida por qualquer dada habilidade, tal como martelar ou jogar xadrez.

Existe apenas uma coisa que somente os humanos podem fazer. E isso é sonhar. Então sonhemos grande!”

Garry Kasparov

1. Introdução

O mundo vive num ambiente de negócios em rápida evolução, aberto à concorrência global e caracterizado pela dispersão em fontes geográficas e organizacionais de inovação e manufatura (Teece, 2007). Diante desta realidade os gestores são desafiados a evitar, eliminar ou diminuir a ocorrência e o impacto de desperdícios em todo o processo de manufatura dos quais são responsáveis. Da mesma forma, executivos procuram meios de adequar suas operações às necessidades mercadológicas, dado que os clientes se tornaram mais exigentes em produtos e serviços inovadores dentro de um período muito curto e com menor preço (Jasti & Kodali, 2014) e cientes de que um *driver* da evolução da produção é a mudança na procura dos clientes ao longo do tempo (Yin, et al., 2017).

Neste sentido surgem várias filosofias que visam à excelência operacional, inspiradas pelo sucesso da indústria automóvel do Japão, como a TQM - Gestão da Qualidade Total, Seis Sigma e ToC - Teoria das Restrições para citar apenas algumas, sem qualquer ordem de importância (Wilson, 2010).

Lean Manufacturing ou “Manufatura Enxuta” (ou ainda “Manufatura *Lean*”), também conhecida como *Lean Production* (ou “Produção Enxuta”, ou ainda “Produção *Lean*”), fundamenta-se em princípios, ferramentas e técnicas de melhoria da produtividade. Seu principal objetivo é eliminar desperdícios, reduzindo ou minimizando a variabilidade tanto interna quanto em nível de fornecedores e clientes (Shah & Ward, 2007).

Em sintonia com esta realidade, o desenvolvimento tecnológico veio a suprir tais necessidades, desde as primeiras revoluções industriais até nesta era da Indústria 4.0 que, apesar de ser um termo introduzido recentemente (ver figura 1), não completamente compreendido e sem consenso sobre seu conceito, abrange inovações tecnológicas como internet das coisas (IoT), *Big Data*, veículos elétricos (EV), impressão 3D, computação em nuvem (*cloud computing*), inteligência artificial e sistemas ciberfísicos (Yin, et al., 2017).

O facto de que *Lean Manufacturing/Lean Production* (doravante LM ou *Lean*) e indústria 4.0 (doravante I 4.0) visam aos mesmos objetivos (melhoria da produtividade), originou termos como “Automação *Lean*” ou “Lean 4.0”. Mayr, et al.

(2018) reuniram literatura que trata do desenvolvimento de ferramentas e técnicas *Lean* como *Just-in-Time* 4.0, *Heijunka* 4.0, *Kanban* 4.0, *VSM (Value Stream Mapping)* 4.0, *TPM (Total Productive Maintenance)* 4.0, *SMED (Single Minute Exchange of Die)* 4.0, *Visual Management* 4.0 e *Poka-Yoke* 4.0.

O tipo de relação entre LM e I 4.0 é abordado de diferentes perspectivas nos 22 artigos, sendo que em 8 deles a influência que a I 4.0 exerce sobre LM é enfatizada, de modo que Mrugalska & Wyrwicka (2017) mostram que as tecnologias da I 4.0 fornecem informações fundamentais que favorecem as práticas *Lean*; Sanders et al (2016) defendem que a I 4.0 é de facto capaz de implementar *Lean*; Wagner et al (2017) mostram que as aplicações da I 4.0 podem estabilizar e suportar os princípios *Lean*; Tortorella et al (2019a) evidenciaram que a adoção puramente tecnológica não levará a resultados diferenciados; Kamble et al (2019) identificam a I 4.0 como um capacitador das práticas *Lean*; Ma et al (2017) e Buer et al (2018a) propuseram um modelo de uso intensivo de tecnologia com objetivo de facilitar a implementação de processos *Lean* e; para Ante et al (2018), a I 4.0 facilita a coleta e a análise de dados de máquinas e de campo, ajudando a melhorar a qualidade e a evitar falhas no processo de produção da fábrica.

Em 7 artigos a complementaridade entre LM e I 4.0 é enfatizada, e podemos resumir alguns contributos: para Kolberg & Zühlke (2015) ambas abordagens não se eliminam uma da outra, sendo que juntos, eles podem agregar valor aos utilizadores; Mayr et al (2018) afirmam que LM e I 4.0 se complementam em um nível conceptual; Tortorella & Fettermann (2018) concluíram que as práticas *Lean* estão positivamente associadas às tecnologias da I 4.0 e sua implementação concomitante leva a maiores melhorias de desempenho; Buer et al (2018b) explicam que tecnologias da I 4.0 podem apoiar e desenvolver práticas de manufatura enxuta bem conhecidas, ou seja, a I 4.0 suporta LM. Sistemas *Lean* estabelecidos facilitam os efeitos das implementações da I 4.0, isto é, *Lean* suporta I 4.0; Kolla et al (2019) propõem um modelo teórico de avaliação da maturidade que abrange tanto *Lean* como I 4.0; Rosin et al (2019) alertam que as tecnologias da I 4.0 não parecem cobrir a integralidade dos princípios *Lean*, do mesmo modo que a I 4.0 não substitui os princípios de gestão *Lean*, que devem ser perseguidos nas empresas e; Pagliosa et al (2019) apontam uma interação positiva entre *Lean* e tecnologias da I 4.0 para a obtenção de um maior desempenho operacional.

A perspectiva que destaca a influência de LM em I 4.0 é compartilhada por 5 artigos, de forma que se pode sintetizar da seguinte maneira: Rossini et al (2019) afirmam que os níveis de adoção mais elevados de tecnologia da I 4.0 podem ser mais facilmente atingidos quando práticas *Lean* são amplamente implementadas; Ghobakhloo & Fathi (2019) demonstram que o desenvolvimento de um sistema de manufatura digitalizado é uma estratégia comercial viável para a sobrevivência das empresas; Bittencourt et al (2019) comprovam que *Lean* é uma importante forma de consolidar a I 4.0 e que o *Lean Thinking* facilita a implementação da I 4.0; Yin et al (2017) alertam para a adaptação dos sistemas de produção, com LM, de acordo com a mudança na procura dos clientes ao longo do tempo e a importância da tecnologia, como as pertencentes à I 4.0, neste processo e; Veza et al (2016) constataram que os principais obstáculos em direção à I 4.0 em seu país era a não utilização de nenhum princípio e *Lean*.

Separado dos demais acima, Tortorella et al (2019b) é o único que estuda a influência de fatores externos em relação à LM e I 4.0 e afirma que o contexto socioeconômico influencia a implementação da automação de práticas *Lean*.

Varela et al (2019) se dedica ao estudo da influência da sustentabilidade em LM e I 4.0, onde encontra uma forte correlação da I 4.0 com os três pilares da sustentabilidade (ambiental, social e econômico), o que não se repete no caso de LM.

As principais obras sobre *Lean* foram publicadas há cerca de 30 anos, ao passo que o termo Indústria 4.0 fora concebido somente em 2011, e desde então tem despertado crescente interesse ao longo do tempo por parte da sociedade como um todo, conforme ilustra a figura 1, na página seguinte.

Entre 2009 e 2019, o termo *Lean Manufacturing* obteve uma média de 66 pontos, seguido de *Lean Production* com 21 e *Industry 4.0* com 16.

Porém, a figura 1 deixa claro que há uma decrescente busca por termos *Lean* e um recente aumento na quantidade de buscas pelo termo I 4.0. I 4.0 já atingia 21 pontos na metade de 2016 enquanto *Lean Production* chegava a 16, e chegou à liderança deste *ranking* em fevereiro de 2019, com 62 pontos contra 59 de LM, demonstrando tendência positiva.

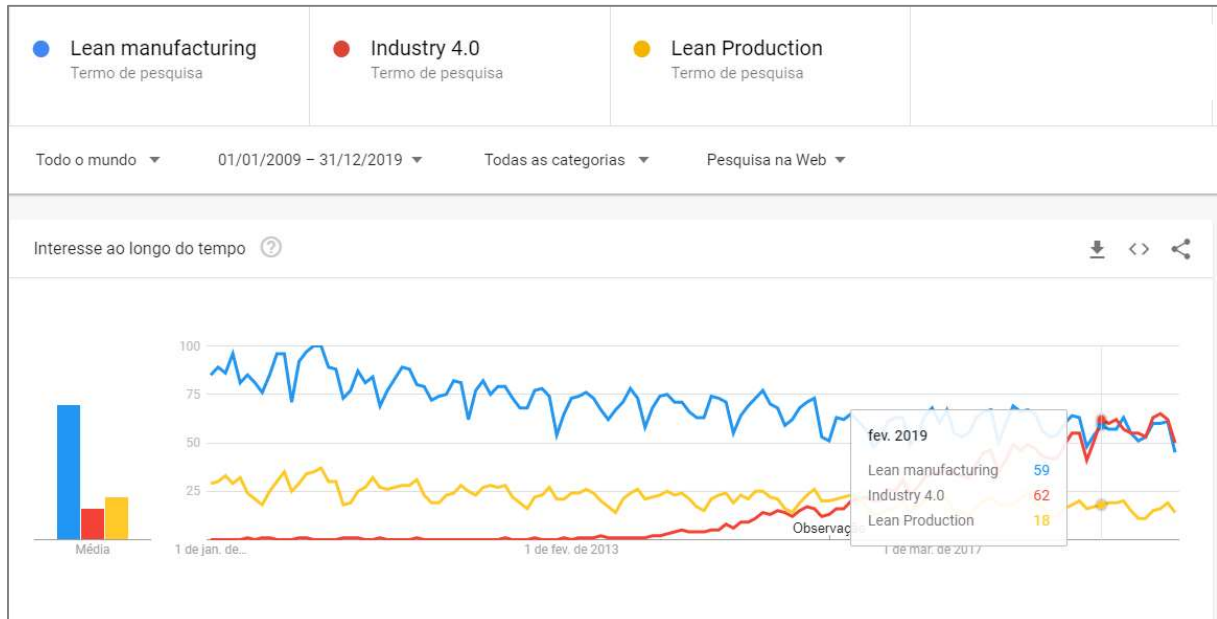


Figura 1 - BUSCA POR LEAN MANUFACTURING, LEAN PRODUCTION E INDUSTRY 4.0: 2009 - 2019

(Fonte: Google, 2020)

Considerando a antiguidade de relatos sobre experiências práticas e estudos teóricos sobre o universo *Lean* em contraponto com a emergência do termo I 4.0, a pouca literatura que alia estes dois assuntos, os variados tipos, abordagens, enfoques e perspectivas da bibliografia disponível, neste estudo buscou-se revisar, sintetizar e analisar a literatura que relaciona estes LM e I 4.0, com objetivos específicos de conhecer quais ferramentas e técnicas LM estão diretamente relacionadas à quais aplicações tecnológicas da I 4.0, segundo os escritores dos selecionados e publicados de 2009 a 2019.

Portanto, o problema de pesquisa é: De acordo com estudos publicados nos últimos 10 anos, quais princípios, ferramentas e técnicas de LM se relacionam com quais das aplicações tecnológicas da era da I 4.0?

Esta pesquisa é de natureza exploratória, fundamentada em artigos científicos disponíveis online, escritos em inglês, publicados entre 2009 e 2019, em fontes especializadas que tenham índice H em SJR maior ou igual a 20, e que tratam da relação entre LM e I 4.0 em alinhamento total, alto ou médio em relação aos objetivos deste trabalho.

Esta dissertação está estruturada em 5 capítulos, onde o primeiro é esta própria introdução, que apresenta um panorama geral do trabalho. O segundo capítulo é dedicado ao enquadramento conceitual acerca de LM e I 4.0 por vias de seu respectivo

referencial teórico. O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada, em pormenor, enquanto o quarto capítulo organiza e analisa os resultados alcançados nesta pesquisa bibliográfica. Por fim, no quinto capítulo são apresentadas algumas conclusões a fim de responder a problemática de pesquisa deste trabalho, suas limitações e sugestões de estudos futuros.

De ressaltar que, após as Referências Bibliográficas (capítulo 6), encontra-se o apêndice A, que poderá auxiliar na elucidação sobre siglas e definições conceituais dos termos mais relevantes não abordados ao longo do texto.

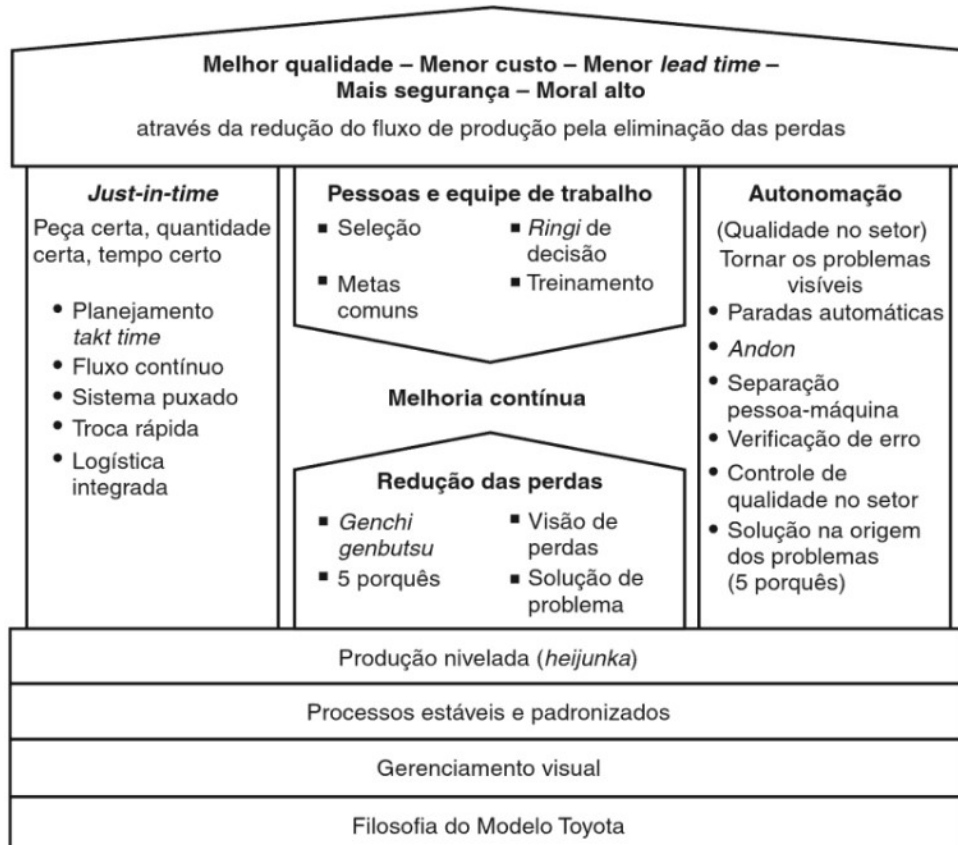
2. Referencial Teórico

2.1 *Lean Manufacturing*

Womack et al (1990) escreveram o livro "A Máquina que Mudou o Mundo", onde encontramos pela primeira vez o termo "*Lean*", no contexto da gestão industrial.

James Womack liderou um grupo de investigadores que realizou um grande estudo sobre os vários métodos de fabricação em uso em todo o mundo e foi constatado que o Sistema *Toyota* de Produção (STP) tornara a *Toyota* a empresa mais eficiente do planeta, no setor automóvel (Akadeniz, 2015).

O diagrama "Casa do STP" é uma das representações mais conhecidas quando se trata de *Lean*, pois a criação de Fujio Cho, resume com simplicidade o coração deste sistema, em que há interdependência entre todos os componentes. Portanto, para Liker (2004), o STP não se resume a um conjunto de ferramentas de melhoria da produtividade, mas um sofisticado sistema centrado nas pessoas e com princípios que se aplicam tanto para indústria como para comércio e serviços.



Fonte: (Adaptado de Liker, 2004)

FIGURA 2 - "CASA STP"

Pode-se dizer que a *Lean Manufacturing* é uma filosofia de gestão industrial que visa proporcionar lucratividade para a empresa através da eliminação de desperdícios, sem perder o foco no cliente. Neste contexto, para Hobbs (2004) fica claro que o objetivo da LM é atingir o maior nível possível de aproveitamento dos recursos disponíveis numa linha de produção.

Conforme explicado acima, é fundamental perceber que um processo de fabrico deve ser projetado e gerido com base no objetivo final a ser atingido, mas com atenção ao uso racional dos ativos e pessoas, para que não se incorra em gastos desnecessários e é neste contexto que a LM tem por base o Pensamento Enxuto (*Lean Thinking* ou PE).

Conforme conceituam (Womack & Jones, 1996), o PE se apoia em 5 princípios:

1) Especificar **valor**: Especificar valor sob a ótica do cliente final, o que significa que o produto, serviço ou resultado entregue deve conter, essencialmente, as características que o cliente valoriza, ou seja, está disposto a pagar. Não se deve, portanto, tornar complexo o trabalho - tendência nas empresas, principalmente através de técnicos que não compreendem plenamente este conceito.

2) Identificar o **fluxo** de valor: O processo produtivo deve ser composto apenas do trabalho que agrega valor ao produto, serviço ou resultado ao cliente. Portanto, trabalho em duplicidade (que não agrega valor) poderá ocorrer sempre que a equipa não se comunicar.

3) **Fluxo contínuo**: Alinhar as atividades de maneira contínua e fluída, eliminando intervenções únicas em grandes lotes, de outras áreas.

4) Produção **puxada**: Uma tarefa deverá ser realizada se, e somente se, for solicitada pela próxima, no fluxo.

5) Perseguir a **perfeição**: Fazer certo à primeira, visando a melhoria contínua do processo.

Markovitz (2017) apresenta um trecho de uma entrevista jornalística que revela três pilares sobre os quais o STP está assente: fabricar carros, fazer melhores carros e ensinar a todos como melhorar os carros fabricados.

Portanto, Markovitz (2017) deixa claro que a *Toyota* está sempre em busca de melhorar continuamente os seus processos, o que demonstra um total alinhamento com a filosofia *Lean*.

Portanto, os princípios *Lean* definidos por James Womack e Daniel Jones estão em total convergência com o uso dos recursos defendida por Dennis Hobbs e a melhoria contínua sustentada por Daniel Markovitz.

O núcleo da filosofia *Lean* está diretamente ligado ao desenvolvimento de habilidades de conscientização e resolução de problemas, à capacidade de autocorreção e total dedicação à melhoria (Markovitz, 2017).

Como bem nos assegura (Davis, 2009), pode-se dizer que uma iniciativa de LM é uma questão de sobrevivência. Neste contexto e conforme explicado acima, fica claro que as empresas que não se dediquem ao aperfeiçoamento de sua atividade produtiva estarão fadadas ao fracasso. Projetos de análise e revisão de processos, de redução de custos ou implementação de melhores práticas da indústria, por exemplo, são esforços que tiram a empresa (ou a área anfitriã da iniciativa) do *status quo* e apontam um caminho de sucesso operacional a seguir. O mais preocupante, contudo, é constatar que a falta de trabalho em equipa em todo esse processo é um fator que pode tornar essa empreitada sem efeito de longo prazo, pois trata-se de um trabalho complexo por si só, que deverá envolver toda a organização.

Por exemplo, em uma regata com oito remadores por barco, uma equipa de basebol com nove jogadores, um jogo de voleibol com seis pessoas por lado ou um time de futebol com onze membros, a chave para ganhar ou perder é o trabalho em equipa. Mesmo com uma ou duas estrelas como jogadores, um time não necessariamente vence. A manufatura também é feita através do trabalho em equipa. Podem ser necessários 10 ou 15 trabalhadores, por exemplo, para realizar um trabalho desde a matéria-prima até finalizar o produto. A ideia é o trabalho em equipa - não quantas peças foram usinadas ou perfuradas por um trabalhador, mas quantos produtos foram concluídos pela linha como um todo (Ohno, 1988).

Conforme citado acima, o esporte coletivo tem muito a ensinar às empresas sobre a importância do trabalho em equipa para conquistar os resultados desejados, sendo este um fator fundamental para que se crie um ambiente propício para a implementação da filosofia LM.

O autor deixa claro que o desempenho do grupo é mais importante do que o individual, reconhecendo a importância de cada tarefa do processo produtivo, bem como sua interdependência.

Fica evidente, diante desse quadro que o objetivo da gestão industrial passa por procurar dispor de operações de baixo custo, com a qualidade necessária e sempre atendendo ao cliente final.

Para o efeito, os 5 princípios que embasam a LM, assumem relevante importância por fomentarem a simplificação e melhoria contínua dos processos.

Importa ressaltar que os membros das equipas mais produtivas serão dotados de consciência sobre seu papel no grupo e sua dependência dos demais integrantes, de capacidade de resolução de problemas que poderão existir e de autocorreção, pois a melhoria contínua deverá ser identificada tanto no plano individual como em nível coletivo.

E este, por fim, é mesmo o grande responsável pelo alcance dos objetivos definidos, não o indivíduo, pois o resultado mais importante é o da empresa, que será o da equipa, com o contributo do resultado da soma do trabalho de seus membros.

2.2 Indústria 4.0

Os últimos 2 séculos e meio da história humana foram marcados por momentos de significativo impacto socioeconómico. Na Inglaterra, em finais do século XVIII, o mundo assiste à primeira grande mudança nos processos de manufatura e produção, com o advento da máquina a vapor. A indústria têxtil passa a produzir em quantidades jamais imaginadas e nascem as primeiras ferrovias e a siderurgia.

A primeira revolução industrial aconteceu, portanto, entre os séculos XVIII e XIX. Houve uma migração da população das zonas agrícolas para as cidades, vocacionadas ao progresso industrial. O primeiro motor a vapor, construído por William Hedley entre 1813 e 1814 transportava carvão da mina de Wylam para as docas de Northumberland. Muito rapidamente o uso da energia a vapor se espalhou e fez nascer a siderurgia, as ferrovias e o setor têxtil que, por sua vez, resultaram em outras indústrias responsáveis por gerar grandes fortunas (Groscurth, 2018).

A segunda revolução industrial é marcada por um período de rápido crescimento econômico, apesar de ter durado apenas cerca de 4 décadas e meia, entre cerca de 1870 e 1914, abarcando o início da primeira guerra mundial. Nos Estados Unidos, o aço, o petróleo, o gás, e a expansão de sistemas ferroviários e telegráficos, as linhas de produção fabril e o advento da eletricidade permitiram a criação de verdadeiros impérios, revelando para o mundo empresários de grande sucesso como Rockefeller, J.P. Morgan, Carnegie e Charles Schwab. Foi nesta altura que foram introduzidas novas tecnologias como a lâmpada, o fonógrafo e o motor de combustão interna. Henry Ford introduz as linhas de montagem em suas fábricas de automóveis e choca toda a indústria ao construir um carro, o Modelo T, em cerca de 93 minutos. (Groscurth, 2018).

A terceira revolução industrial começou no final dos anos 50 e continuou até a década de 1970. Em 2000, Jack Kilby ganhou um Prêmio Nobel de física por sua contribuição à tecnologia de *microchips* (patenteada em 1959 em sua primeira versão), pois seu contributo abriu caminho para os computadores pessoais, a Internet, as informações digitais e as tecnologias de comunicação móvel. Neste contexto, a computação pessoal e a conectividade digital dão origem a um outro grande recomeço (Groscurth, 2018).

A quarta revolução industrial, onde estamos, representa uma grande convergência e avanço das tecnologias da revolução anterior, originando também outras e novos modelos de negócios que exploram inteligentemente a integração dos mundos físico, biológico e digital, conforme figura 3 abaixo.

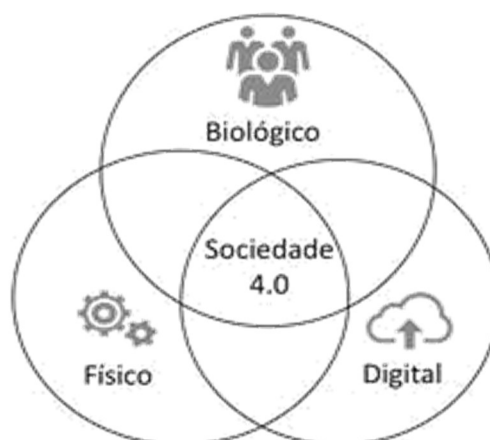


FIGURA 3 - CONVERGÊNCIA DOS MUNDOS DIGITAL, FÍSICO E BIOLÓGICO

Fonte: (da Silva, et al., 2018)

Novas tecnologias estão a ser integradas em todas as áreas da nossa vida e no quotidiano das empresas, gerando grandes quantidades de dados que podem ser analisados, utilizados e monetizados das mais variadas maneiras, criando avanços em todos os setores num ritmo jamais imaginado há cinco anos (Groscurth, 2018).

Podemos perceber na figura 3 que nossa sociedade, que participa da quarta revolução industrial em marcha, é impactada direta e simultaneamente por tecnologias das esferas física, biológica e digital.

O mercado atual é “inteligente”, pois os clientes participam da personalização individual e as empresas já fazem uso de tecnologias como IoT (Internet das Coisas), *Big Data*, EV (veículos elétricos), impressão 3D, computação em nuvem (*Cloud Computing*), AI (inteligência artificial) e sistemas ciberfísicos (Yin, et al., 2017).

As revoluções industriais mudaram não apenas as indústrias, mas a forma como os cidadãos se relacionavam com o mundo à sua volta e interagem com as tecnologias, sistemas políticos e instituições sociais (Schwab & Davis, 2018).

Em suma, o mundo passou por transformações radicais nas formas de produção, na organização do trabalho, na utilização de recursos e no desenvolvimento do processo produtivo quando ocorreram as revoluções industriais, de modo que a filosofia *Lean* nasce durante a terceira revolução e permanece até hoje, conforme ilustra a figura a seguir:

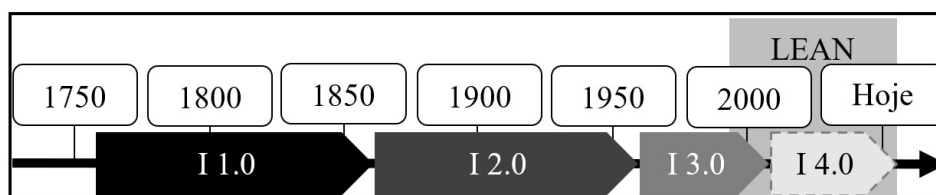


FIGURA 4 - *LEAN* NA LINHA DO TEMPO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

(Fonte: Elaboração Própria)

A figura 4 acima marca a posição de *Lean* em relação aos períodos da indústria 1.0, 2.0, 3.0 e 4.0, consideradas as revoluções industriais.

Sendo assim, importa explorar a relação entre *Lean* e I 4.0, que será objeto de análise no capítulo seguinte.

3. Metodologia

O presente trabalho segue a proposta de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para área de gestão proposta por Tranfield et al (2003), devido à sua consistência, fiabilidade e ampla aceitação no meio académico. Para que a RSL seja levada à cabo, os referidos autores propõem três estágios, compostos de fases, conforme tabela I abaixo:

TABELA I
METODOLOGIA EMPREGUE NESTA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Estágio I	Estágio II	Estágio III
Fase 0: Identificação da necessidade de uma revisão.	Fase 3: Identificação da pesquisa.	Fase 8: Relatório e recomendações.
Fase 1: Preparação da proposta de revisão.	Fase 4: Seleção dos estudos.	Fase 9: Buscando evidências na prática.
Fase 2: Desenvolvimento do protocolo de revisão.	Fase 5: Avaliação da qualidade dos estudos.	-
-	Fase 6: Extração dos dados e monitoramento do processo.	-
-	Fase 7: Síntese dos dados.	-

(Fonte: Adaptado de Tranfield et al (2003))

3.1. Estágio I

O primeiro estágio é dedicado ao planeamento da revisão, e é composto das seguintes fases:

3.1.1. Fase 0: Identificação da necessidade de uma revisão.

Em pesquisas prévias sobre o tema deste trabalho, observa-se um crescente interesse da sociedade pelo tema da Indústria 4.0 nos últimos anos (conforme ilustrado na figura 1, do capítulo introdutório). Não obstante, a literatura que aborda a relação entre LM e I 4.0 como temática única de seus escritos mostra-se emergente e incipiente.

De ressaltar que ao longo da pesquisa foram incluídas apenas três RSL, no horizonte dos últimos 10 anos, sendo duas de 2019 e outra de 2018.

3.1.2. Fase 1: Preparação da proposta de revisão.

Considerando a conclusão da fase anterior, o propósito desta pesquisa é o de revisar, sintetizar e analisar a literatura que relaciona LM e I 4.0, com objetivos específicos de conhecer quais ferramentas e técnicas *Lean Manufacturing* estão diretamente relacionadas à quais aplicações tecnológicas da Indústria 4.0, segundo obras publicadas de 2009 a 2019.

3.1.3. Fase 2: Desenvolvimento do protocolo de revisão.

Com base na proposta estabelecida, foram definidas duas bases eletrônicas para as pesquisas: Google Scholar e Scopus. A primeira devido à sua grande abrangência e a segunda por ser uma das maiores e mais respeitadas base de dados revisada por pares do meio acadêmico.

Em ambas as bases as buscas são por materiais publicados entre 2009 e 2019, que estejam ajustados ao tema e objetivos deste trabalho, seja em nível total (o ideal), seja em nível alto ou até mesmo médio.

As fontes dos materiais (revistas, *journals*, conferências, etc) devem ter um mínimo de relevância acadêmica e científica.

Diante da realidade de que este trabalho não conta com qualquer financiamento, os materiais devem ser de acesso gratuito e total (*Full Text*).

Os materiais selecionados só poderiam estar escritos em língua portuguesa ou inglesa. Isto porque o português é o idioma oficial do país onde este trabalho é publicado, e o inglês é o idioma utilizado na grande maioria das publicações relevantes nesta área.

3.2. Estágio II

O segundo estágio é dedicado à condução da pesquisa propriamente dita, e é composto das seguintes fases:

3.2.1. Fase 3: Identificação da pesquisa.

As buscas nas duas bases foram divididas da seguinte forma: No Google Scholar foi feita uma busca por materiais com títulos contendo a palavra “Lean” e que, necessariamente, continham pelo menos uma das seguintes palavras no restante do seu texto: “Industry 4.0” ou “fourth industrial revolution” ou “Lean Industry” ou “Lean Industry 4.0”. Esta busca retornou 119 resultados.

Na base Scopus, que apresenta uma configuração de pesquisa particular e diferente da fonte de pesquisa anterior, a procura foi feita por materiais cujo título, resumo e palavras-chave continham as expressões “Lean” e, obrigatoriamente uma das seguintes: “Industry 4.0” ou “fourth industrial revolution” ou “Lean Industry” ou “Lean Industry 4.0”. Esta busca retornou 27 resultados.

Ao final destas buscas, 5 materiais foram removidos pois constavam em ambas as fontes, o que resultou em 141 materiais pré-selecionados.

3.2.2. Fase 4: Seleção dos estudos.

Após a leitura dos 141 resumos, se notou que 8 materiais demonstravam baixo alinhamento (AL baixo) por tratarem de outros assuntos com maior profundidade, resultando em 133 materiais selecionados.

Para garantir um mínimo de relevância e qualidade dos materiais pesquisados, o *H Índice* do SJR foi adotado como critério de elegibilidade dos materiais, sendo que não foram aceites aqueles com um valor igual ou menor que 20 ($H\text{ Ind.} < 20$), ao passo que 65 dos 133 não atenderam a este critério, restando 68 materiais eleitos.

Destes 68 materiais, 41 não forneciam acesso aberto ou não eram acessíveis via uso de credenciais desta instituição de ensino perante à fonte pesquisada (NA).

Destes 41 materiais, 05 não estavam escritos em português nem em inglês (NING) o que, por fim, resulta em 22 materiais incluídos este trabalho.

A figura 5 abaixo resume os passos seguidos nas fases 3 e 4:

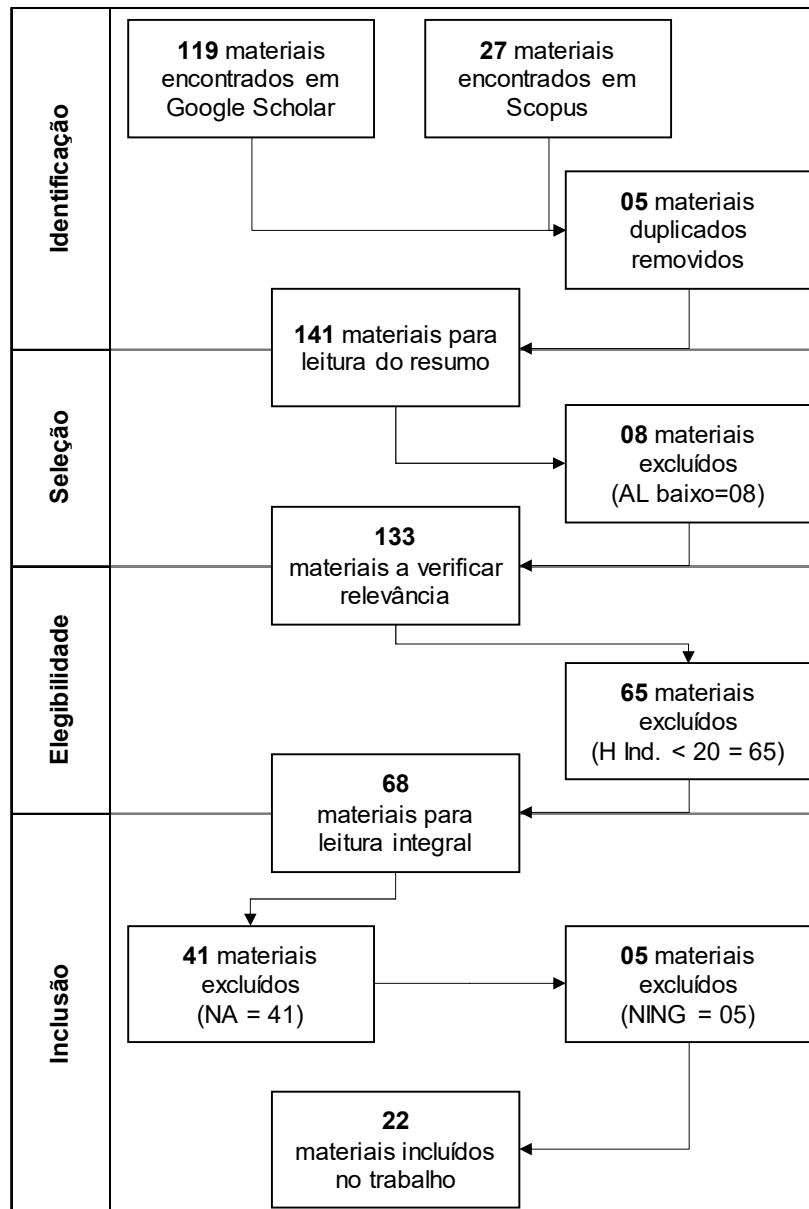


FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DOS PASSOS SEGUIDOS NAS FASES 3 E 4

(Fonte: Elaboração Própria)

3.2.3. Fase 5: Avaliação da qualidade dos estudos.

Todos os 22 materiais seguiram um rigor científico aceitável, independentemente de serem pesquisas bibliográficas, surveys ou estudos de caso.

3.2.4. Fase 6: Extração dos dados e monitoramento do processo.

O resumo de todos os 141 artigos foi acessado via website onde os mesmos se encontravam, e sempre que possível, os artigos foram transferidos (em ficheiros do tipo .pdf) para leitura em momento oportuno de acordo com o previsto no processo.

Desde o início deste trabalho, foi criada uma lista com as seguintes informações reunidas sobre os mesmos: autor(es), ano de publicação, título, nome da fonte, tipo, identificador digital do objeto (DOI).

Adicionalmente, nesta mesma lista incluiu-se os seguintes campos, também servindo como variáveis: o grau de alinhamento do material com o objetivo deste trabalho, o índice H do *Scimago Journal Ranking* (SJR), o tipo de acesso (se aberto ou não), o idioma, a abordagem em relação à filosofia *Lean* (qual vertente *Lean* foi enfatizada pelo artigo), e o tipo de influência existente na relação entre LM e I 4.0.

Por fim, foram contabilizadas quais ferramentas e técnicas *Lean* eram relacionadas a quais tecnologias I 4.0, segundo informações extraídas dos artigos examinados.

As informações acima foram organizadas em folha de cálculo do MS Excel e, tal como todo este trabalho, foram objeto de revisão contínua durante todo o processo.

3.2.5. Fase 7: Síntese dos dados.

Dos 22 artigos incluídos neste estudo, 17 artigos foram publicados em jornais e revistas académicas e científicas (*journals*) e 05 foram apresentados em congressos científicos, conforme ilustra a figura 6 abaixo:

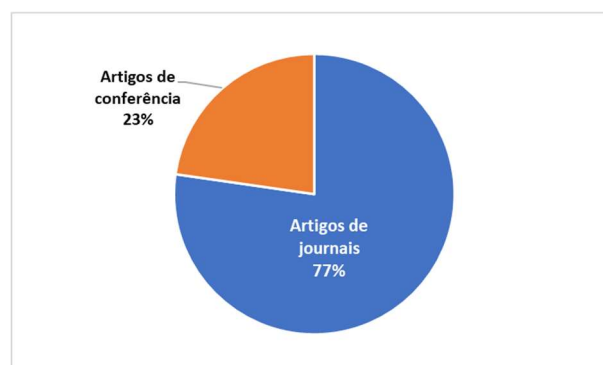


Figura 6 - Distribuição Percentual do Tipo de Material Incluído

(Fonte: Elaboração Própria)

Percentualmente, fica evidente que a grande maioria dos artigos utilizados nesta pesquisa foram publicados em jornais científicos.

É importante, também, verificar o ano de publicação dos materiais, dado que este trabalho se atém às publicações de 2009 à 2019 e a figura 7 ilustra esta distribuição:

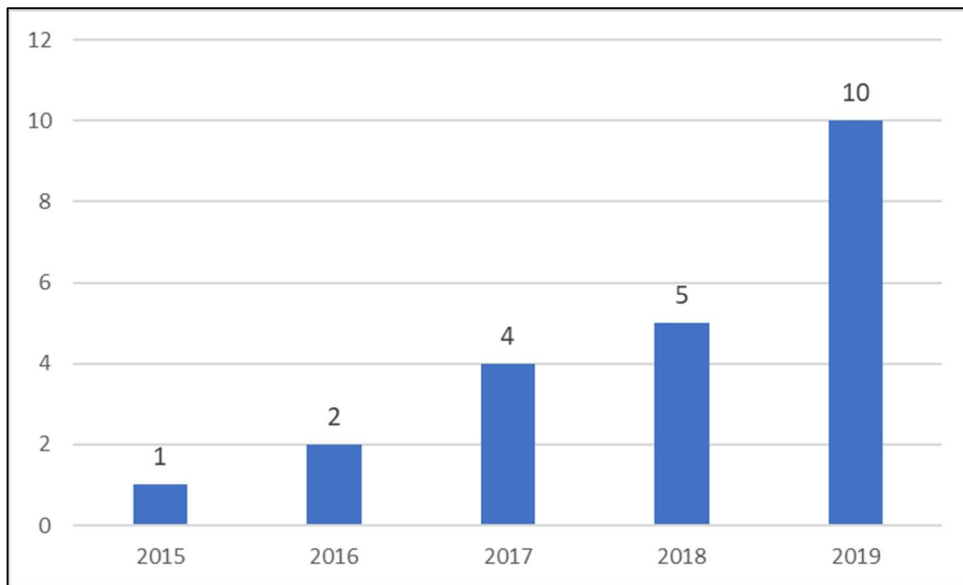


Figura 7 - Quantidade, por ano, de artigos incluídos

(Fonte: Elaboração Própria)

A figura 7 indica que a maioria dos artigos incluídos neste estudo foi publicada em 2019, sendo o mais antigo em 2015.

De ressaltar que foram utilizadas 12 fontes diferentes, conforme figura 8:

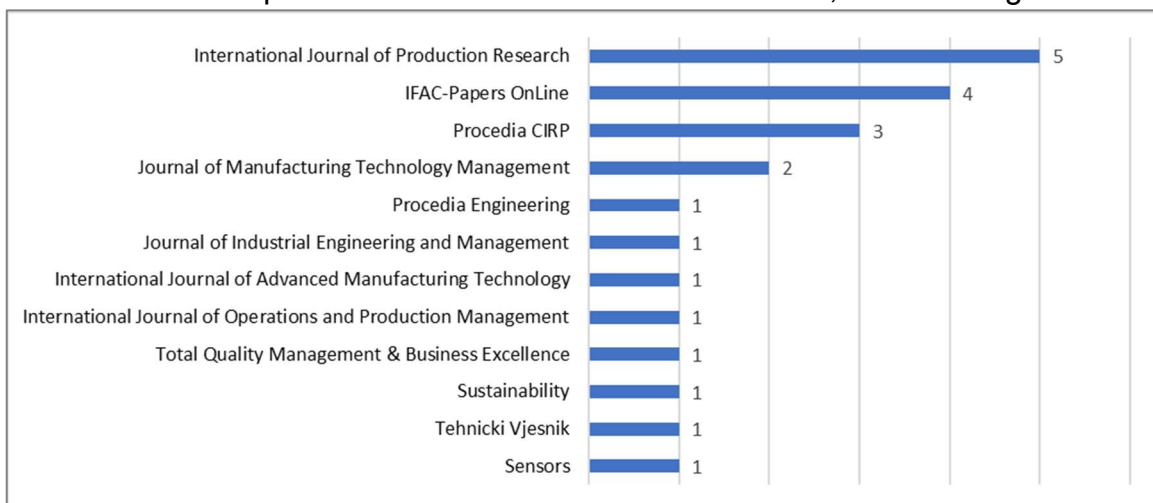
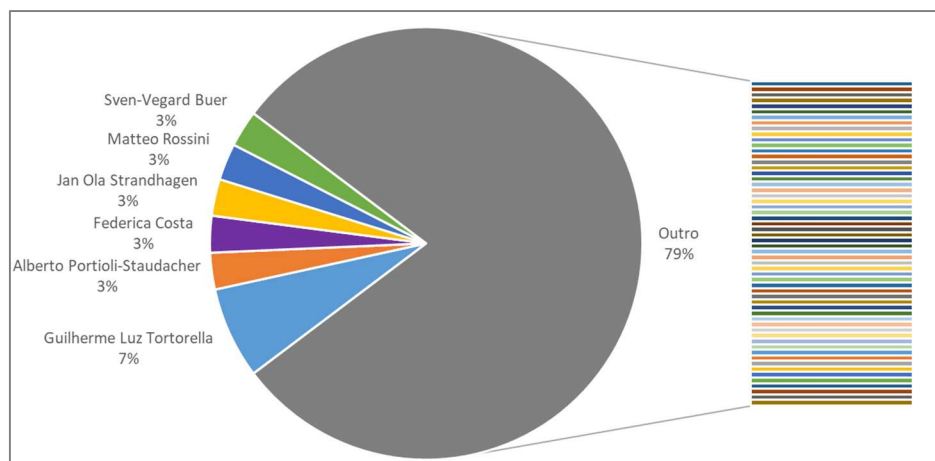


Figura 8 - Fontes Classificadas Por Quantidade De Obras Incluídas

(Fonte: Elaboração Própria)

A figura 8 evidencia que o *International Journal of Production Research* foi quem mais contribuiu com estudos para esta pesquisa, com 05, ou 23% do todo.

Os 22 artigos foram escritos com a colaboração de 64 autores diferentes. Os que possuem mais de uma participação estão assim distribuídos: Guilherme Luz Tortorella (5), Alberto Portioli-Staudacher (2), Federica Costa (2), Jan Ola Strandhagen (2), Matteo Rossini (2) e Sven-Vegard Buer (2), conforme retrata as proporções do gráfico a seguir:



(Fonte: Elaboração Própria)

Figura 9 - Participação Percentual dos Autores nas Obras Incluídas no Estudo

A figura 9 acima deixa claro que o autor mais frequente participa em 7% das obras incluídas neste estudo, cada um dos outros 5 autores têm 3% de participação total, e os demais autores somam os 79% restantes, em números arredondados.

As instituições de ensino superior às quais os autores principais dos artigos estavam vinculados variaram entre 12 países diferentes, conforme figura 10 a seguir:

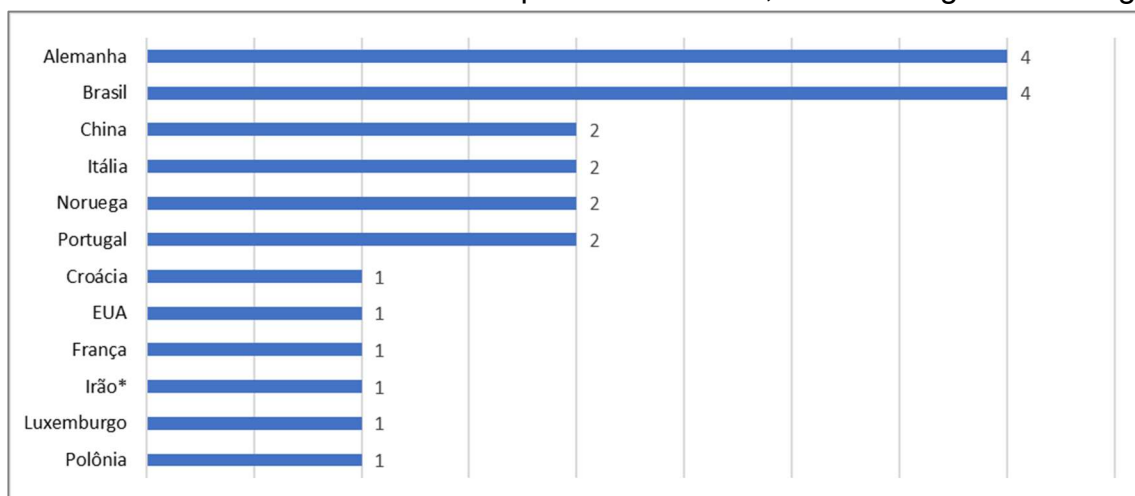


Figura 10 - Nacionalidade das Instituições dos Autores Principais

(Fonte: Elaboração Própria)

O Irão tem um asterisco, pois o autor Ghobakhloo, M. (do artigo “Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized Manufacturing”) ao mesmo tempo também representava uma instituição da Malásia, que não foi contabilizada por ter sido citada em segundo lugar, pelo referido autor.

O critério para considerar o “autor principal” foi este ter sido o autor destacado para responder pelo artigo, geralmente identificado como “*corresponding author*”, tendo seu e-mail apresentado em seguida, no artigo.

As pesquisas científicas podem ser categorizadas segundo sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos (Sakamoto & Silveira, 2019). Os procedimentos metodológicos utilizados nos 22 artigos estão assim distribuídos:

TABELA II
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS UTILIZADOS

Pesquisa Bibliográfica	Survey	Estudo de Caso
12	7	3

(Fonte: Elaboração Própria)

A pesquisa bibliográfica [PB] pode ser tanto o próprio estudo como um todo – quando a única origem das informações coletadas e analisadas é a literatura disponível, como por exemplo livros e artigos científicos – ou pode ser parte de um estudo – dado que toda e qualquer pesquisa inclui algum estudo bibliográfico, ao abordar conceitos e a teoria sobre um tema (Sakamoto & Silveira, 2019).

Estas 12 pesquisas bibliográficas são revisões da literatura dos tipos: narrativa (7), sistemática (3) e sistemática-integrativas (2).

A revisão narrativa é utilizada para descrever o estado da arte sobre um assunto específico, numa perspectiva teórica ou contextual. Esse tipo de revisão não fornece a metodologia para a busca das referências, nem as fontes de informação utilizadas, ou os critérios usados na avaliação e seleção dos trabalhos. Em grande medida, depende da interpretação e análise crítica do pesquisador (Bernardo, et al., 2004).

Já a revisão sistemática é um método de investigação científica com um processo rigoroso e explícito para identificar, selecionar, coletar dados, analisar e descrever as contribuições relevantes à pesquisa. É uma revisão feita com

planeamento e reunião de estudos originais, sintetizando os resultados de múltiplas investigações primárias através de estratégias que limitam vieses e erros aleatórios (Ferenhof & Fernandes, 2016).

A revisão sistemática-integrativa da literatura é um método específico, que resume o passado da literatura empírica ou teórica, para fornecer uma compreensão mais abrangente de um fenômeno particular (Botelho, et al., 2011).

A pesquisa de levantamento ou *survey* [SU] permite descrever uma “população” ou “universo” a partir de uma “amostra” representativa (Sakamoto & Silveira, 2019), e é muito utilizada por viabilizar uma pesquisa diante das várias restrições de ordem técnica, operacional, financeira e de tempo, porém permitindo controlo dos dados obtidos e precisão nas informações geradas (Rudio, 1997).

O estudo de caso [EC] “é um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento” (Gil, 2008).

Do ponto de vista da abordagem *Lean*, ou seja, qual vertente utilizam ou como se referem a este termo, os 22 artigos analisados formam os seguintes grupos: 7 deles usam o termo *Lean Manufacturing*; 7 usam *Lean Production*; 3 usam apenas *Lean*; 2 usam *Lean Automation*; outros 2 usam *Lean Management* e 1 aborda o *Lean Thinking*.

Da perspectiva de influência entre LM e I 4.0, é possível constatar cinco grupos: 8 artigos enfocam a influência de I 4.0 em *Lean*; 7 enfatizam a complementaridade entre *Lean* e I 4.0; 5 focam na influência de *Lean* sobre a I 4.0; 1 foca na influência de fatores externos em *Lean* e Indústria 4.0 ao mesmo tempo e, por fim; 1 foca na influência da sustentabilidade n sobre *Lean* e I 4.0.

3.3. *Estágio III*

O terceiro e último estágio é dedicado ao reporte e disseminação da mensagem principal do trabalho, e é composto das seguintes fases:

3.3.1. *Fase 8: Relatório e recomendações.*

Esta fase será apresentada no capítulo seguinte, que analisa a literatura selecionada em pormenor, agrupando os resultados encontrados por perspectiva de

influência entre LM e I 4.0, bem como revelando quais tecnologias I 4.0 está diretamente relacionada à LM.

3.3.2. Fase 9: Buscando evidências na prática.

Esta fase será apresentada no capítulo de conclusão, limitações e estudos futuros.

4. Organização e Análise de Resultados

Este capítulo representa a fase 8 do estágio III do método adotado.

4.1. Da perspectiva de influência entre *Lean* e Indústria 4.0

4.1.1. A influência da Indústria 4.0 em *Lean*

É possível constatar que são oito os artigos que estudaram a influência da Indústria 4.0 em *Lean*, com sugestões de que I 4.0 informa, implementa, estabiliza, suporta, modera, capacita, facilita, ajuda e viabiliza as práticas *Lean*.

Mrugalska & Wyrwicka (2017) [PB] mostram que as tecnologias da I 4.0 fornecem informações fundamentais que favorecem as práticas *Lean*, ao apresentarem 3 exemplos teóricos que ilustram tal ligação, e aconselham integrar a tecnologia da informação do nível de planejamento e monitorização da produção, aos fornecedores e clientes de forma que as empresas estejam mais bem preparadas para enfrentarem os desafios da era da I. 4.0.

Sanders et al (2016) [PB] defendem que a I 4.0 é de facto capaz de implementar *Lean*, pois analisaram as barreiras para a implementação de LM e propuseram soluções conceituais para resolver tais barreiras, concluindo que o compromisso com a Indústria 4.0 faz com que uma fábrica seja “enxuta”, além de “inteligente”.

Wagner et al (2017) [PB] mostram que as aplicações da I 4.0 podem estabilizar e suportar os princípios *Lean*, pois analisaram detalhadamente o impacto das tecnologias na gestão e desenvolveram uma matriz conceitual de impacto da Indústria 4.0 nos sistemas de produção *Lean*.

Tortorella et al (2019a) [SU] explicam que a adoção puramente tecnológica não levará a resultados diferenciados, constataram que I 4.0 modera o efeito das práticas *Lean* na melhoria do desempenho operacional e sugerem que as práticas *Lean* ajudam na instalação de hábitos e mentalidades organizacionais que favorecem a melhoria sistêmica dos processos, apoiando o desenho e controle da gestão operacional dos fabricantes rumo à era da quarta revolução industrial.

Kamble et al (2019) [SU] investigaram os efeitos indiretos de I 4.0 sobre o desempenho sustentável da organização com práticas LM como variável mediadora

e identificaram a I 4.0 como um capacitador das práticas *Lean*, que leva à melhoria do desempenho sustentável da organização.

Ma et al (2017) [EC] desenvolveram e testaram com sucesso uma abordagem integrada e padronizada para projetar e implementar um sistema *Lean* inteligente baseado em sistemas ciberfísicos, que pode servir como um importante valor de referência para combinar os benefícios da tecnologia inovadora e da metodologia adequada.

Ante et al (2018) [EC], propuseram e validaram uma estrutura em forma de árvore dos Indicadores Chave de Desempenho (KPIs) para descrever a medição de desempenho de um sistema de produção enxuto de um fabricante multinacional líder na indústria automotiva que utiliza o Sistema de Produção Bosch (BPS) em sua organização. Os autores afirmam que I 4.0 facilita a coleta e a análise de dados de máquinas e de campo, e ajudam a melhorar a qualidade e a evitar falhas no processo produtivo.

Buer et al (2018a) [PB], definiram o conceito de digitalização e propuseram um método novo e intuitivo de ciclo de melhoria para que as organizações possam orientar seus esforços de digitalização de práticas *Lean*.

4.1.2. A complementaridade entre a Indústria 4.0 em *Lean*

Os 7 artigos que estudaram a complementaridade entre *Lean* e I 4.0 põem seu enfoque sobre a união de *Lean* com I 4.0 e transmitem a ideia de que ambos os assuntos agregam valor quando sincronizados, se complementam, estão positivamente associados, podem ser implementados em conjunto, se suportam, podem fazer parte de um mesmo modelo de maturidade, não se anulam, tem interação positiva.

Kolberg & Zühlke (2015) [PB] identificam algumas lacunas na relação de LM com I 4.0, como a falta de um conceito abrangente para a integração flexível de postos de trabalho manuais e automatizados, mas constataram que ainda assim a I 4.0 e a produção *Lean* não se eliminam entre si, mas podem agregar valor juntas, notando que se trata de um tema atual e promissor.

Mayr et al (2018) [PB] revisitaram e sintetizaram dois “use cases” anteriormente publicados: um sobre o contributo da computação em nuvem para a melhoria do sistema de manutenção produtiva total (TPM) de uma prensa de estampagem de chapas de metal na produção de acionamentos elétricos; e outro sobre como os gêmeos digitais contribuem para a superação do caráter estático do mapeamento do fluxo de valor (VSM). Concluíram, entre outros, que *Lean* e I 4.0 se complementam mutuamente.

Tortorella & Fettermann (2018) [SU] examinaram a relação entre as práticas de produção enxuta (*Lean*) e a implementação da I 4.0 nas empresas brasileiras de manufatura. Os resultados desta pesquisa indicam que as práticas *Lean* estão positivamente associadas às tecnologias da I 4.0 e sua implementação concomitante eleva as melhorias de desempenho.

Buer et al (2018b) [PB] investigaram a ligação entre a I 4.0 e LM por meio de uma revisão sistemática da literatura e identificaram correntes de pesquisa e resultados que, entre outros, constataam que (1) a I 4.0 suporta LM (tecnologias da I 4.0 podem apoiar e desenvolver práticas de manufatura enxuta bem conhecidas) e (2) LM suporta I 4.0 (sistemas de LM estabelecidos facilitam os efeitos das implementações da I 4.0).

Kolla et al (2019) [PB] desenvolveram um modelo teórico de maturidade que respeita as características das pequenas e médias empresas (PMEs) de manufatura. Tal modelo conceitual contempla tanto os elementos *Lean* como os da I 4.0 para que uma PME possa identificar sua maturidade atual e ter bases para evoluir neste sentido.

Rosin et al (2019) [PB] propuseram uma caracterização dos impactos das tecnologias do I 4.0 sobre os diferentes princípios *Lean*, e descobriram que há um forte apoio de I 4.0 para ferramentas *Lean* como Just-in-time e Jidoka. Além disso, as tecnologias mais comumente sugeridas para melhorar os princípios *Lean* são a Internet das Coisas e a Simulação. Contudo, estes autores constataram que as tecnologias da I 4.0 não parecem cobrir a integralidade dos princípios *Lean*, mas podem reforçar a eficiência destes princípios e afirmam que a I 4.0 não substitui os princípios de gestão *Lean*, que devem ser perseguidos nas empresas. Existe, portanto, uma clara necessidade de prosseguir a implementação da gestão *Lean*,

melhorando ao mesmo tempo certos princípios *Lean*, utilizando as tecnologias, de acordo com o nível de capacidade visado.

Pagliosa et al (2019) [PB] realizaram uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar as relações entre I 4.0 e as práticas de LM nas empresas fabricantes e indicam que as empresas que estão a passar por uma implementação de LM e desejam beneficiar da I4.0 devem, preferencialmente, investir esforços na adoção de Internet das Coisas e Sistemas Ciberfísicos, pois são as mais prováveis de fornecer resultados a curto prazo, ao contrário da Robotização Avançada, que não deve ser priorizada devido ao seu nível limitado de sinergia com LM.

4.1.3. A influência de *Lean* na Indústria 4.0

Já os 5 artigos que estudaram a influência de *Lean* na Indústria 4.0 indicam que *Lean* facilita, viabiliza, consolida, flexibiliza, é pré-condição para I 4.0.

Rossini et al (2019) [SU] fizeram um estudo para analisar o impacto da inter-relação entre I 4.0 e LM sobre o nível de melhoria do desempenho operacional de fabricantes europeus. Após considerar alguns fatores contextuais, os resultados sustentam a ideia de uma ampla aplicabilidade de ambas as abordagens, indicando que os níveis de adoção mais elevados de I 4.0 podem ser mais facilmente atingidos quando práticas *Lean* são amplamente implementadas na empresa. Em oposição, quando os processos não são desenhados de forma robusta e não estão estabelecidas práticas de melhoria contínua, a disponibilidade das empresas para a adoção de novas tecnologias pode ser menor.

Ghobakhloo & Fathi (2019) [EC] estudaram por cinco anos a jornada de desenvolvimento e implementação do sistema de manufatura digitalizado *Lean* de uma pequena empresa de manufatura e constataram que tal projeto pode ser dispendioso e desafiador, mas promotor de melhoria na competitividade corporativa no longo prazo. Constataram, entre outros, que o desenvolvimento de um sistema de manufatura digitalizado é uma estratégia comercial viável para a sobrevivência das empresas no setor.

Bittencourt et al (2019) [PB] realizaram uma revisão sistemática da literatura com foco no efeito do pensamento *Lean* como facilitador, no âmbito da I 4.0, e reconheceram, entre outros, que o alto investimento necessário para digitalizar um

processo produtivo não tem utilidade se o processo estiver fora de controlo e com muitos desperdícios. Constataram, entre outros, que o pensamento *Lean* facilita a implementação da I4.0, pois simplifica processos e elimina desperdícios de forma que não se repitam, reduz a possibilidade de comprometimento de recursos escassos e aumenta a transparência dos processos/organização do trabalho.

Yin et al (2017) [PB] discutiram os mais populares sistemas de produção sob a perspectiva da relação dos mesmos diante da oferta de produtos e a procura dos clientes, no contexto da Indústria 2.0 até a 4.0. Discutiram as possibilidades de uma fábrica inteligente do futuro, equipada com internet de coisas, elaboraram as dimensões da procura na I 4.0, a mudança de arquitetura do produto na indústria automóvel e o impacto da impressão 3D, perceberam que um “driver” da evolução da produção é a mudança na procura dos clientes ao longo do tempo e apresentaram potenciais de aplicação dos princípios *Lean* para a I 4.0.

Veza et al (2016) [SU] realizaram uma pesquisa com o objetivo de melhorar a compreensão científica do estado atual da indústria manufatureira croata e, infelizmente, constataram que 75 % das empresas pesquisadas não utilizavam nenhum sistema de produção ou princípio *Lean*, o que representou o principal obstáculo no caminho da indústria de manufatura da Croácia em direção à I 4.0.

4.1.4. A influência de fatores externos em *Lean* e Indústria 4.0

Dos 22 artigos incluídos neste trabalho, apenas um estudou a influência de fatores externos em *Lean* e I 4.0 em forma de *survey*.

Tortorella et al (2019) [SU] examinam as diferenças no nível de implementação tanto da I 4.0 como da produção *Lean*, entre fabricantes localizados no Brasil e em Itália e os resultados indicam que o contexto socioeconômico onde as empresas estão localizadas influencia a extensão da referida implementação.

4.1.5. A influência de sustentabilidade em *Lean* e Indústria 4.0

Foi também através de uma *survey* que a influência da sustentabilidade em *Lean* e I 4.0 foi estudada.

Varela et al (2019) [SU] mediram quantitativamente os efeitos de LM e da I 4.0 em Sustentabilidade, nas empresas industriais da Península Ibérica e chegaram a duas conclusões: (1) não é conclusivo que LM esteja correlacionado com qualquer um dos pilares da sustentabilidade e; (2) a I 4.0 mostra uma forte correlação com os três pilares da sustentabilidade.

4.2. Dos componentes Lean mais relacionadas com a Indústria 4.0

Nota-se que boa parte do Sistema *Toyota* de Produção (STP) é representado pelas obras que associam diretamente I 4.0 com *Lean*, sendo *Kanban*, *Heijunka*, *Kaizen*, *Just-In-Time*, Trabalho Padronizado e *Jidoka*, as ferramentas e técnicas LM mais associadas com alguma tecnologia I 4.0.

Isso demonstra grande interesse dos pesquisadores nos benefícios da tecnologia para: a gestão visual de fluxos de produção e transporte; no nivelamento da produção; na melhoria contínua; na produção, transporte ou compras somente na medida do necessário, e na hora exata; na redução da variabilidade dos processos, facilitação do processo formativo de novos colaboradores, segurança operacional, documentação e base comum para consulta e desenvolvimento da atividade e; na sinergia entre a automação e as tecnologias que proporcionam a capacidade das máquinas de distinguirem itens bons dos defeituosos, sem a necessidade de monitoramento por operários.

A tabela III lista todas as correções encontradas neste trabalho:

TABELA III
COMPONENTES LM E SUA CORRELAÇÃO DIRETA COM I 4.0

Ferramentas e técnicas LM	Total de correlações com I 4.0	Conjuntos de tecnologias I 4.0
Kanban	9	Integração Horizontal, Cloud Computing, Smart Machine*, Smart Product*, Smart Operator, Simulação e Smart Planner.
Heijunka	9	Integração Horizontal, Analytics*, Integração Vertical, Big Data, Sensores e atuadores*, Cloud Computing e Realidade Virtual.
Kaizen	8	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data, Realidade Aumentada, Cloud computing, Realidade Virtual e Smart Product.

Just-In-Time	8	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data, Realidade Aumentada, Sensores e atuadores, Cloud computing e {AGV, RFID (Auto-ID)}.
Padronização	8	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data, Realidade Aumentada, Sensores e atuadores, Cloud Computing e Realidade Virtual.
Jidoka	8	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data e Cloud Computing.
Redução de Desperdícios	5	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data e Internet das Coisas.
Gestão de pessoas e Trabalho em Equipe	5	Analytics, Realidade Aumentada*, Realidade Virtual e {Big Data & Analytics}.
Takt-time	4	Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical e Big Data.
Fluxo Puxado	4	Integração Horizontal, Integração Vertical, Sensores e atuadores e Internet das Coisas.
Gestão de múltiplos fornecedores e clientes	4	Integração Horizontal*, {Big Data & Analytics} e {Cloud/mobile computing, IIoT}.
VSM	3	Integração Horizontal, Smart Product e {RFID (Auto-ID), Big data & Analytics, Machine Learning}.
Andon	3	Smart Machine, Smart Operator e Augmented Operator.
Gestão Visual	3	Internet das Coisas, {Big Data & Analytics} e {RFID (Auto-ID), Realidade Aumentada}.
SMED	2	Smart Machine e {Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada e Plug and Play}.
Poka Yoke	2	Smart Machine e {RFID (Auto-ID), Machine Learning, Realidade Aumentada}.
5S	2	Realidade Aumentada e Realidade Virtual.
Separação Homem-Máquina	2	Realidade Aumentada e Realidade Virtual.
Fluxo Contínuo	2	{E-Kanban, RFID, Plug & Play, IIoT} e {Simulação e Internet das Coisas}.
TPM	1	{Realidade Virtual e Realidade Aumentada, Big Data & Analytics, Plug & Play}.
SMED, kaizen e heijunka	1	Simulação.
VSM e Padronização	1	{Integração horizontal e Integração vertical}.
5S e Padronização	1	Sensores e atuadores.
Controle da Qualidade na estação de trabalho	1	Internet das Coisas.

(Fonte: Elaboração Própria)

4.3. *Dos componentes da Indústria 4.0 mais relacionadas com Lean*

As tecnologias mais associadas à LM são: Integração Horizontal, Analytics, Integração Vertical, Big Data, Realidade Aumentada, Sensores e Atuadores, Cloud Computing, Realidade Virtual.

A Integração Horizontal foi citada em associação com todas as seis ferramentas e técnicas *Lean* mais frequentes, o que comprova que a gestão deve abranger toda a cadeia produtiva, de forma que todos os participantes do sistema possam colaborar para o resultado positivo das transações do mesmo.

Analytics é a tecnologia que aparece na sequência como mais popular entre os autores, comprovando a importância da análise de dados para tomada de decisão.

Integração Vertical vem em seguida, em termos de relevância constante nas obras, abrangendo quase todas as componentes *Lean* distinguidas, demonstrando a criticidade da excelência operacional do início ao fim do processo produtivo interno à empresa.

Big Data está a seguir, demonstrando grande abrangência em *Lean*, e demonstra que os textos abordam a crescente quantidade de dados a analisar, revelando a importância das empresas em disporem de estruturas compatíveis com esta realidade.

Em seguida a Realidade Aumentada é uma das mais referidas pelos autores, o que corrobora a ligação desta tecnologia com processos produtivos na linha operacional e formativa.

Seguidamente, os Sensores e Atuadores são citados pelos autores, numa explicitação de que aqui há grande oportunidade de geração e coleta de dados, que serão armazenados (*Big Data*) e analisados (*Analytics*) e apoio no nivelamento da produção, por exemplo.

Cloud Computing aparece em seguida em quantidade de citações encontradas nos artigos, e também está ligada a todos os itens *Lean* melhor classificados, confirmando sua significativa abrangência de utilização, dadas as capacidades cada vez maiores dos sistemas e infraestrutura correlata.

Por fim, entre os termos mais populares nas pesquisas está a Realidade Virtual, que notadamente, está ligada à atividades formativas e experiências de teste de cenários sem interferir no mundo real, o que proporciona benefícios imediatos ao evitar gastos desnecessários com medidas corretivas de segurança, saúde, meio ambiente e operacionais, entre outros.

A tabela IV lista todas as tecnologias correlacionadas com *Lean* que este trabalho encontrou:

TABELA IV
TECNOLOGIAS I 4.0 E SUA CORRELAÇÃO DIRETA COM COMPONENTES LM

Tecnologias I 4.0	Total de correlações com LM	Conjuntos de ferramentas e técnicas LM
Integração Horizontal	12	Kanban, Heijunka, Kaizen, Just-In-Time, Padronização, Jidoka, Redução de Desperdícios, Takt-time, Fluxo Puxado, Gestão de múltiplos fornecedores e clientes* e VSM.
Analytics	9	Heijunka*, Kaizen, Just-In-Time, Padronização, Jidoka, Redução de Desperdícios, Gestão de pessoas e Trabalho em Equipe e Takt-time.
Integração Vertical	8	Heijunka, Kaizen, Just-In-Time, Padronização, Jidoka, Redução de Desperdícios, Takt-time e Fluxo Puxado.
Big Data	7	Heijunka, Kaizen, Just-In-Time, Padronização, Jidoka, Redução de Desperdícios e Takt-time.
Realidade Aumentada	7	Kaizen, Just-In-Time, Padronização, Gestão de pessoas e Trabalho em Equipe*, 5S e Separação Homem-Máquina.
Sensores e atuadores	6	Heijunka*, Just-In-Time, Padronização, Fluxo Puxado e {5S e Padronização}.
Cloud Computing	6	Kanban, Heijunka, Kaizen, Just-In-Time, Padronização e Jidoka.
Realidade Virtual	6	Heijunka, Kaizen, Padronização, Gestão de pessoas e Trabalho em Equipe, 5S e Separação Homem-Máquina.
Smart Machine	5	Kanban*, Andon, SMED e Poka Yoke.
Smart Product	4	Kanban*, Kaizen e VSM.
Internet das Coisas	4	Redução de Desperdícios, Fluxo Puxado, Gestão Visual e Controle da Qualidade na estação de trabalho.
{Big Data & Analytics}	3	Gestão de pessoas e Trabalho em Equipe, Gestão de múltiplos fornecedores e clientes e Gestão Visual.

Smart Operator	2	Kanban e Andon.
Simulação	2	Kanban e {SMED, kaizen e heijunka}.
Augmented Operator	1	Andon.
Smart Planner	1	Kanban.
{Cloud/mobile computing, IIoT}	1	Gestão de múltiplos fornecedores e clientes.
{E-Kanban, RFID, Plug & Play, IIoT}	1	Fluxo Contínuo.
{AGV, RFID (Auto-ID)}	1	Just-In-Time.
{RFID (Auto-ID), Big data & Analytics, Machine Learning}	1	VSM.
{Realidade Virtual e Realidade Aumentada, Big Data & Analytics, Plug & Play e Simulação}	1	TPM.
{Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada e Plug and Play}	1	SMED.
{RFID (Auto-ID), Realidade Aumentada}	1	Gestão Visual.
{RFID (Auto-ID), Machine Learning, Realidade Aumentada}	1	Poka Yoke.
{Integração horizontal e vertical}	1	{VSM e Padronização}.
{Simulação e Internet das Coisas}	1	Fluxo Contínuo.
{Cloud Computing e Internet das Coisas}	1	Jidoka.

(Fonte: Elaboração Própria)

As palavras seguidas de asterisco indicam que aquele componente, seja de I 4.0 ou de *Lean*, foi relacionado duas vezes.

Os colchetes indicam um conjunto, seja de tecnologias I 4.0 ou ferramentas e técnicas *Lean* já que a literatura analisada considera estes itens em conjunto quando apresentam os “*use cases*” ou “*case studies*”, como encontrado em Mayr et al (2018).

Quando (Wagner, et al., 2017) listam todas as ferramentas e técnicas *Lean* que estavam de acordo com o conjunto de critérios utilizados, fizeram com que todas as intersecções possíveis fossem preenchidas, ainda que fossem preenchidas com

avaliações como de “baixo impacto”. Estes casos foram excluídos, permanecendo apenas os de “alto impacto” e “o mais alto impacto”.

Esta revisão demonstra a alta e recente relevância atribuída a Indústria 4.0 por parte da sociedade de modo geral. Também se observa que as obras analisadas foram publicadas a partir de 2015, em linha com sua recente popularidade.

Além disso, confirma que *Lean Manufacturing* e *Lean Production* são as abordagens mais comumente associadas às tecnologias da I 4.0, sendo que é unânime a influência que um assunto tem noutro, seja genericamente, seja em específico.

São explicitadas as ferramentas e técnicas *Lean* mais frequentemente experimentados em relação às aplicações tecnológicas da I 4.0, resultados de vários tipos de estudos.

5. Conclusões, Limitações e Estudos Futuros

Este capítulo representa a fase 9 do estágio III do método adotado.

Este trabalho teve como objetivo identificar as relações entre as aplicações tecnológicas da era da Indústria 4.0 e as ferramentas, técnicas e princípios que compõem a filosofia *Lean Manufacturing*.

Esta revisão sistemática da literatura examinou o conteúdo de 22 artigos acadêmicos internacionais que tratam da relação entre LM e I 4.0 em pormenor, seja em nível conceptual, seja prático.

Os componentes *Lean* mais associados à uma ou mais tecnologias I 4.0 são *Kanban*, *Heijunka*, *Kaizen*, *JIT*, Padronização e *Jidoka*. Do lado da tecnologia mais frequentemente associada à LM, verifica-se que são Integração Horizontal, *Analytics*, Integração Vertical, *Big Data*, Realidade Aumentada, Sensores e atuadores, *Cloud Computing* e Realidade Virtual.

Sensores de radiofrequência (RFID) facilitam a coleta e a análise de dados de máquinas e, em sintonia com *Heijunka*, melhoram a qualidade e evitam falhas no processo de produção da fábrica (Ante, et al., 2018).

Em estudo de caso, *Analytics* é utilizado pelo departamento de Recursos Humanos na mesma empresa que também adota a Integração Horizontal de seu sistema, integrando fornecedores e clientes. Embora a implementação do sistema de manufatura digitalizado *Lean* seja dispendiosa e desafiadora, esta estratégia oferece competitividade corporativa superior no longo prazo (Ghobakhloo & Fathi, 2019).

Rosin, et al. (2019) sugerem que as práticas LM com mais potencial de agregar valor ao serem associadas às tecnologias I 4.0 são *Just-in-time* e *Jidoka*, e as tecnologias mais comumente sugeridas para melhorar os princípios *Lean* são a Internet das Coisas e a Simulação.

Internet das Coisas demonstra alta sinergia com as práticas *Lean* e potencial de retorno do investimento em curto prazo. Portanto é sugerida como a tecnologia de entrada numa implementação desta natureza, ao contrario da Robotização Avançada, que demonstra baixo alinhamento (Pagliosa, et al., 2019).

Além de possível, a implementação conjunta entre LM e I 4.0 conduz a empresa a melhoria de desempenho operacional (Tortorella & Fettermann, 2018).

Mas é importante perceber que a adoção puramente tecnológica não levará a resultados diferenciados (Tortorella, et al., 2019a) e a empresa que não terminou o seu "trabalho de casa" sobre o tema *Lean* não pode avançar em direção à Indústria 4.0 (Veza, et al., 2016).

O principal aprendizado e potencial contributo deste trabalho se dá na constatação de que os maiores ganhos estarão nas combinações: seja ao combinar ferramentas e técnicas *Lean* entre si (como o uso do *Kanban* para controlar itens a serem transportados somente quando requisitados pelo cliente ao fornecedor, numa lógica *Just-In-Time*, por exemplo); seja ao combinar tecnologias I 4.0 entre si (Integração Horizontal e Vertical do Sistema expandem o elo da empresa com seus clientes e fornecedores e destes com o processo produtivo desta própria empresa, por exemplo) e, principalmente; ao utilizar as combinações *Lean* com as da I 4.0 numa combinação final de solução (ou seja, *Kanban*, *Just-In-Time*, Integração Horizontal e Integração Vertical, todas combinadas).

Dessa forma, nota-se potencial contributo desta dissertação nas fases iniciais de implementação de programas de melhoria da competitividade das empresas por parte de gerentes, supervisores e coordenadores de produção, além de ser um contributo para investigadores e professores interessados na análise destes dois fenômenos em conjunto, como forma de aprimorar conhecimentos e planejar futuras pesquisas.

Este trabalho tem limitações, sendo a principal delas a quantidade reduzida de artigos que o compõe, o que significa que seus achados não garantem plena certeza de serem generalizados, o que indica alguma necessidade de serem desenvolvidos mais estudos sobre este assunto.

Considerando a característica exploratória desta pesquisa e a relativa novidade que caracteriza o tema da Indústria 4.0, algumas sugestões para estudos futuros poderiam ser nas seguintes linhas:

- i. Os diferentes tipos de impactos no desempenho de operações que utilizam alguma(s) ferramenta(s) LM e implementam tecnologia(s) da I 4.0;

- ii. A influência dos princípios LM no desenvolvimento de tecnologias da era da I 4.0;
- iii. A aplicação dos princípios, ferramentas e técnicas *Lean* associadas a tecnologias da I 4.0 em operações de serviços, como hospitais, clínicas e similares (*Lean Healthcare*) e em atividades de construção e obras em geral (*Lean Construction*).

6. Referências Bibliográficas

Akadeniz, C., 2015. *Lean Manufacturing Explained*. 1ª ed. Bad Bodendorf: CreateSpace Independent Publishing Platform.

Ante, G., Facchini, F., Mossa, G. & Digiesi, D., 2018. Developing a key performance indicators tree for lean and smart production systems. *IFAC-Papers OnLine*, 51(11), pp. 13-18.

Azuma, R. T., 1997. A Survey of Augmented Reality. *Hughes Research Laboratories*, 6(4), pp. 355-385.

Bernardo, W. M., Nobre, M. R. C. & Jatene, F. B., 2004. A prática clínica baseada em evidências. parte II - buscando as evidências em fontes de informação. *Revista Brasileira de Reumatologia*, 44(6), pp. 403-409.

Bittencourt, V., Alves, A. & Leão, C., 2019. *Lean Thinking contributions for Industry 4.0: a Systematic Literature Review*. Berlim, IFAC-Papers OnLine.

Botelho, L. L. R., Cunha, C. C. d. A. & Macedo, M., 2011. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. *Gestão e Sociedade*, 5(11), pp. 121-136.

Buer, S., Fragapane, G. & Strandhagen, J., 2018a. The Data-Driven Process Improvement Cycle: Using Digitalization for Continuous Improvement. *IFAC-Papers OnLine*, 51(11), pp. 1035-1040.

Buer, S., Strandhagen, J. & Chan, F., 2018b. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), pp. 2924-2940.

da Silva, E. B., Scoton, M. L. R. P. D., Dias, E. M. & Pereira, S. L., 2018. *Automação & Sociedade: Quarta Revolução Industrial, um olhar para o Brasil*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Brasport Livros e Multimídia Ltda..

Davis, J. W., 2009. *Lean Manufacturing: Implementation Strategies that Work : a Roadmap to Quick and Lasting Success*. 1ª ed. Nova Iorque: Industrial Press Inc..

Feld, W. M., 2000. *Lean Manufacturing: Tools, Techniques, and How to Use Them*. 1ª ed. Boca Raton: CRC Press.

Ferenhof, H. A. & Fernandes, R. F., 2016. Desmistificando a revisão da literatura como base para redação científica: Método SSF. *Revista ACB*, ago/nov, 21(3), pp. 550-563.

Gartner, I., 2020. *Gartner Glossary*. [Online] Available at: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data> [Acedido em 8 01 2020].

Ghobakhloo, M. & Fathi, M., 2019. Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(1), pp. 1-30.

Gil, A. C., 2008. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6ª ed. São Paulo: Atlas.

Google, 2020. *Trends*. [Online] Available at: <https://trends.google.com/trends/explore?date=2009-01-01%202019-12-31&q=Lean%20manufacturing,Industry%204.0,Lean%20Production> [Acedido em 25 Março 2020].

Groscurth, C. R., 2018. *Future-Ready Leadership: Strategies for the Fourth Industrial Revolution*. 1ª ed. Santa Bárbara: ABC-CLIO.

Guttentag, D. A., 2010. Virtual reality: Applications and implications for tourism. *Tourism Management*, 31(5), pp. 637-651.

Hobbs, D. P., 2004. *Lean Manufacturing Implementation: a complete execution manual for any size manufacturer*. 1ª ed. Flórida: J. Ross Publishing, Inc..

Hozdić, E., 2015. Smart Factory for Industry 4.0: A Review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, VII(1), p. 2067–3604.

Jasti, N. V. K. & Kodali, R., 2014. Lean production: literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3), pp. 867-885.

Kamble, S., Gunasekaran, A. & Dhone, N., 2019. Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 58(5), pp. 1319-1337.

Kolberg, D. & Zühlke, D., 2015. *Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies*. Kaisers lantern, IFAC-PapersOnLine.

Kolla, S., Minoufekr, M. & Plapper, P., 2019. *Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing SMEs*. Ljubljana, Procedia CIRP.

Krevelen, D. & Poelman, R., s.d. s.l.:s.n.

Liker, J. K., 2004. *The Toyota Way*. 1ª ed. New York: The McGraw-Hill Companies.

Ma, J., Wang, Q. & Zhao, Z., 2017. SLAE–CPS: Smart lean automation engine enabled by cyber-physical systems technologies. *Sensors*, 17(7), p. 1500.

Markovitz, D., 2017. *A Factory of One: Applying Lean Principles to Banish Waste and Improve Your Personal Performance*. 1ª ed. Nova Iorque: CRC Press.

Mayr, A. et al., 2018. Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and industry 4.0. *Procedia CIRP*, Volume 72, pp. 622-628.

Mrugalska, B. & Wyrwicka, M., 2017. *Towards lean production in industry 4.0*. Poznan, Procedia Engineering.

Ohno, T., 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. 1ª ed. Portland: CRC Press.

Pagliosa, M., Tortorella, G. & Ferreira, J., 2019. Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A systematic literature review and future research directions. *Journal of Manufacturing Technology Management*, ahead-of-print(ahead-of-print), pp. 1-27.

Picciano, A. G., 2012. The Evolution of Big Data and Learning Analytics in American Higher Education. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, 16(3), pp. 09-20.

Rosin, et al., 2019. Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6), pp. 1644-1661.

Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G. & Staudacher, A., 2019. The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European

manufacturers. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 102, p. 3963–3976.

Rudio, F. V., 1997. *Introdução ao projeto de pesquisa científica*. 21ª ed. Petrópolis: Vozes.

Sakamoto, C. K. & Silveira, I. O., 2019. *Como fazer projetos de iniciação científica*. 1ª ed. São Paulo: Paulus.

Sanders, A., Elangeswaran, C. & Wulfsberg, J., 2016. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), pp. 811-833.

Schwab, K. & Davis, N., 2018. *Shaping the Future of the Fourth Industrial Revolution: A guide to building a better world*. 1ª ed. Londres: Penguin UK.

Sciences, B. E. E. a. C., 2009. *Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud*.

[Online]

Available at: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/EECS-2009-28.pdf>

[Acedido em 15 08 2019].

Scopus, 2020. *SCImago Journal & Country Rank*. [Online]

Available at: <https://www.scimagojr.com/help.php>

[Acedido em 08 01 2020].

Shah, R. & Ward, P. T., 2007. Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, Volume 25, p. 785–805.

Teece, D. J., 2007. Explicating Dynamic Capabilities: The Nature And Microfoundations Of (Sustainable) Enterprise Performance.. *Strategic Management Journal*, 28(13), p. 1319–1350.

Tortorella, G. & Fettermann, D., 2018. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), pp. 2975-2987.

Tortorella, G., Giglio, R. & van Dun, D., 2019a. Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance

improvement. *International Journal of Operations and Production Management*, 39(6/7/8), pp. 860-886.

Tortorella, G. et al., 2019b. A comparison on Industry 4.0 and Lean Production between manufacturers from emerging and developed economies. *Total Quality Management & Business Excellence*, p. DOI: 10.1080/14783363.2019.1696184.

Varela, L. et al., 2019. Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability. *Sustainability*, 11(5), p. 1439.

Veza, I., Mladineo, M. & Gjeldum, N., 2016. Selection of the basic lean tools for development of Croatian model of innovative smart enterprise. *Tehnicki Vjesnik*, 23(5), pp. 1317-1324.

Wagner, T., Herrmann, C. & Thiede, S., 2017. *Industry 4.0 impacts on lean production systems*. Braunschweig, Procedia CIRP.

Wendling, M., 2010. *Sensores*, Guaratinguetá: UNESP - Universidade Estadual Paulista.

Wilson, L., 2010. *How to Implement Lean Manufacturing*. 1^a ed. New York: McGraw-Hill.

Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D., 1990. *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. 1^a ed. New York: Free Press.

Womack, J. P. & Jones, T. D., 1996. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 1(11), p. 48.

Yin, Y., K., S. & Li, D., 2017. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), pp. 848-861.

Apêndice A: Siglas e Definições Relevantes

Termo e notas e fonte	Definição
Genéricas	
• Interesse ao longo do tempo [páginas 13-14] In Google (2020)	Os números representam o interesse de pesquisa relativo ao ponto mais alto no gráfico de uma determinada região em um dado período. Um valor de 100 representa o pico de popularidade de um termo. Um valor de 50 significa que o termo teve metade da popularidade. Uma pontuação de 0 significa que não havia dados suficientes sobre o termo.
• H Index [páginas 14;25;27] In Scopus (2020)	O índice h exprime o número de artigos (h) que receberam, pelo menos, as citações h. Quantifica tanto a produtividade científica da revista como o seu impacto científico, sendo igualmente aplicável a cientistas, países, etc.
Relativas à Lean Manufacturing	
• Heijunka In Mayr et al (2018)	É o nivelamento do programa de produção a uma taxa constante. Ao produzir apenas a demanda do cliente, o desperdício sob a forma de superprodução é reduzido.
• Jidoka In Rosin et al (2019)	Significa construir qualidade no produto através da detecção automática de anomalias no processo, visando a mínima necessidade de intervenção humana no referido processo.
• Just-In-Time In Yin et al (2017)	É a garantia de fornecer os componentes corretos, no local certo, no momento apropriado, na quantidade exata.
• Kaizen In Kolla et al (2019)	É a cultura de melhoria contínua, que garante a aplicação das melhores práticas durante a fabricação de um produto.
• Kanban In Buer et al (2018a)	É a sinalização para/de uma estação de trabalho de que esta deve fornecer materiais para outra estação de trabalho à jusante no processo.
• Trabalho Padronizado In Feld (2000)	É a documentação da melhor maneira de produzir um produto. Serve como uma ferramenta de comunicação, treinamento e melhoria de processos e pode incluir informações como tempo de ciclo, tempo <i>takt</i> , nível de trabalho projetado em processo, sequência de fluxo do operador, sequência de fluxo de material, equipe etc.
Relativas à Indústria 4.0	
• Analytics In Picciano (2012)	É a ciência do exame de dados para tirar conclusões e, quando usada na tomada de decisões, para apresentar caminhos ou cursos de ação.
• Big Data In Gartner (2020)	São ativos de informação de alto volume, alta velocidade e/ou alta variedade que exigem formas inovadoras e econômicas de processamento de informação que permitem uma melhor percepção, tomada de decisões e automação de processos.
• Cloud Computing In Sciences (2009)	Refere-se tanto aos aplicativos fornecidos como serviços pela Internet quanto ao <i>hardware</i> e <i>software</i> de sistemas nos <i>datacenters</i> que fornecem esses serviços. O que compõe o <i>datacenter</i> é o que chamaremos de nuvem.
• Integração Horizontal In Kolla et al (2019)	Diz respeito à ideia de integrar os vários sistemas de TI de uma fabricante com outras empresas (clientes e/ou fornecedores).
• Integração Vertical In Hozdić (2015)	É a integração dentro das estruturas das organizações, desde o desenvolvimento até o produto final.
• Realidade Aumentada In Azuma (1997)	É uma variação dos ambientes virtuais, ou realidade virtual, que permite ao utilizador ver o mundo real, com objetos virtuais superpostos ou compostos com o mundo real.
• Realidade Virtual In Guttentag (2010)	É a utilização de um ambiente 3D gerado por computador - chamado "ambiente virtual" - com o qual se pode navegar e possivelmente interagir, resultando na simulação em tempo real de um ou mais dos cinco sentidos do utilizador.
• Sensores e Atuadores In Wendling (2010)	Sensores são dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc. Atuadores são dispositivos que modificam uma variável controlada, quando recebem um sinal proveniente do controlador e agem sobre o sistema controlado, como por exemplo válvulas, motores etc.