

Sinergia entre *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0 no contexto de século XXI

Zaida Micaela Franco, Carlos Alberto Oian

Resumo: O sistema *Lean Manufacturing* é conhecido no setor industrial mundialmente, por trazer eficiência aos processos. Entretanto, atualmente com o advento da 4ª Revolução Industrial mais conhecida como Indústria 4.0 (I.4.0) é uma nova abordagem para lidar com os problemas atuais e futuros da indústria. O sucesso da I.4.0 é beneficiado por uma estrutura do Sistema Lean de Produção (LPS). Esse trabalho visa analisar a interdependência e sinergia entre LPS e a I.4.0, destacando seus pontos em comum e os benefícios mútuos.

Palavras chave: *Lean Production System, Indústria 4.0, Lean 4.0*

Sinergy between *Lean Manufacturing* and Industry 4.0 in context of XXI century

Abstract: The *Lean Manufacturing* is known in the industrial sector worldwide, for bringing efficiency to processes. However, nowadays with the 4th Industrial Revolution, better known as Industry 4.0 (I.4.0), that is a new approach to current problems and to future of industry. The success of I.4.0 profits from a structure of *Lean Production System* (LPS). This paper aims to analyze interdependence and synergy between LPS and I.4.0, highlighting their communalities and mutual benefits.

Key words: *Lean Production System, Industry 4.0, Lean 4.0*

1. Introdução

O termo *Lean Production* foi cunhado na década de 1950 na fábrica da *Toyota Motor Company* no Japão, sendo utilizado no processo produtivo visando menor *lead time*, reduzindo custos e mantendo um alto padrão de qualidade. O sistema implantado é muito efetivo e simples, portanto, a partir da publicação do livro “A máquina que mudou o mundo”, por Womack et al., 1992, o Sistema Toyota de Produção (TPS – *Toyota Production System*) ou *Lean Production System* (LPS) se tornou amplamente conhecido e efetivamente implementado no mundo ocidental a partir da década de 1990. O principal objetivo do TPS é sincronizar o fator humano com o processo de produção (SINGH, 2017).

O princípio básico do *Lean Production System* está baseado na redução de oito perdas. Estas perdas são transporte, armazenamento, acessibilidade do processo, movimentação desnecessária, tempo de espera, superprodução, tolerâncias “apertadas”, defeitos e acima de tudo não utilização das habilidades e conhecimentos dos trabalhadores. Porém, além das ferramentas clássicas do *Lean Production System* é preciso lembrar que os negócios estão conectados ao mundo externo (OHNO, 1988 apud LEÓN, CALVO-AMODIO; 2015) e assim, o Lean é uma resposta as relações em constante mudança; logo esse conceito é uma resposta ao contexto em que está inserido (CABRERA et al., 2008 apud LEÓN, CALVO-AMODIO; 2015). Portanto, tentar definir um modelo estático de Lean é falhar ao reconhecer que ele está em constante fluxo e evolução (LEÓN, CALVO-AMODIO; 2015).

Já a recente Indústria 4.0 (I.4.0) corresponde a 4ª Revolução Industrial e foi apresentada na *Hannovermesse* em 2011. A Indústria 4.0 pode ser compreendida, por meio da Lei de Moore, com a queda nos preços e o aumento da performance das modernas Tecnologias de Informação e de Comunicação (ICT - *Information and communications technology*). As características mais citadas em relação a I.4.0 são sensores/atuadores, RFID (*Radio Frequency Identification*), integração horizontal e

vertical além do que se pode ser otimizado com as modernidades do ICT como manufatura industrial, logística, gerenciamento de processos e negócios, transporte inteligente de pessoas e objetos (DOMBROWSKI, 2017).

A implementação da I.4.0 requer processos bem definidos e de forma eficiente, antes de iniciar a automatização, logo, é necessária a definição de métodos, fornecedores, consumidores, tarefas e tempo requerido. O TPS pode suprir essa necessidade, uma vez que visa o desenvolvimento e a implementação de processos eficientes sem desperdícios, com altos padrões e altamente focado no consumidor (DOMBROWSKI, 2017). Desta forma foi possível identificar que vários autores já analisaram diferentes interdependências entre os conceitos de Lean Manufacturing e I.4.0, as quais podem ser divididas em quatro categorias: Lean como base para a Indústria 4.0, Indústria 4.0 completa o Lean, Indústria 4.0 aumenta a eficiência do Lean e Indústria 4.0 muda os princípios do Lean (DOMBROWSKI, 2017).

2. Referencial teórico

2.1 Lean Manufacturing

Enquanto as fábricas automobilísticas ocidentais só buscavam produzir em larga escala, o objetivo principal de Ohno era minimizar os desperdícios que levariam a redução de custos (SILBERSTON, 1959 apud SINGH, 2017). Na década de 1950, quando o *Lean Production System (LPS)* foi introduzido na fábrica da Toyota, uma série de diferentes métodos e princípios sincronizados, foram estabelecidos com a finalidade de controlar a produção. O processo surgiu como um meio de organizar o sistema de produção e seus componentes visando uma redução no *Lead Time*, com mínimo custo e altos padrões de qualidade (OHNO, 1988 apud SINGH, 2017).

Mesmo já sendo muito bem aceita, por acadêmicos e pela indústria em relação as vantagens competitivas do *LPS*, há uma divergência quanto a definição do mesmo. Para Shah e Ward, 2003 apud Léon e Calvo-Amodio, 2017, o *LPS* pode ser definido como uma abordagem multidimensional que abrange uma ampla variedade de práticas gerenciais que trabalham sinergicamente para criar um sistema que entregue produtos com alto padrão de qualidade no ritmo da demanda do consumidor e com um processo com mínimo desperdício. Porém, as definições sobre *LPS* giram em torno de perspectivas para realizar o propósito do *Lean*, tradicionalmente são redução de estoque, implantando práticas gerenciais, agregando valor e redução de desperdícios. Mas, classicamente as ferramentas podem ser classificadas em quatro dimensões são elas, fator do fornecedor, fator do consumidor, fator do processo e controle e fator humano, utilizadas como ilustrado na Figura 1 (SANDERS et al., 2016).

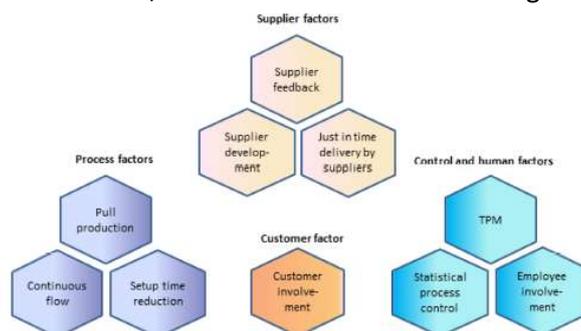


Figura 1. Dimensões agrupadas do Lean Manufacturing

FONTE: SANDERS et al., 2016

A primeira dimensão de Fator do Fornecedor, consiste em *Supplier Feedback* (Feedback do Consumidor), *Supplier Development* (Desenvolvimento do Fornecedor) e *Just-in-Time Delivery by Suppliers* (Entrega pelo Fornecedor no Sistema *Just-in-Time*). Já na dimensão Fator do Processo, conta

com *Pull Production* (Produção Puxada), *Continuous Flow* (Fluxo Contínuo) e *Setup time reduction* (Redução do tempo de *setup*).

Na terceira dimensão do Fator do Consumidor, conta com o *Customer Involvement* (Envolvimento do Consumidor) e a última dimensão de a de Controle e Fator Humano que consiste em *Total Productive/Preventive Maintenance (TPM)* (Manutenção Produtiva Total), *Statistical Process Control* (Controle Estatístico do Processo) e *Employee Involvement* (Envolvimento do Empregado).

2.2 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é o nome dado a Quarta Revolução Industrial (I.4.0), cada revolução na história da indústria foi o resultado de uma inovação tecnológica, como visto na Figura 2. (PILGRIM, 2015). Durante a Primeira Revolução Industrial, datada do século XVIII, visava-se a mudança do rural para o industrial, a demanda dessa era o aumento do volume de produção que foi viabilizada através da mecanização, da roda d'água e da máquina a vapor (YIN et al., 2017).

Já a Segunda Revolução Industrial, a qual ocorreu no final do século XIX, foi um período vertiginoso crescimento na quantidade e na variedade de produtos, mediante a produção em massa e contando com inovações tecnológicas nos setores da eletricidade, da eletrônica e da mecânica. Os nomes que mais se destacam nessa revolução são Frederick Taylor, Henry Ford e Taiichi Ohno (YIN et al., 2017). A Terceira Revolução Industrial, ocorreu na década de 1980, é caracterizada pela mudança do analógico para o digital, portanto a implementação dos computadores e da automação. Essa revolução é marcada pela redução drástica dos ciclos de vida dos produtos, a era do mercado volátil e com crescentes demandas de volume, de variedade e do tempo de entrega (YIN et al., 2017).

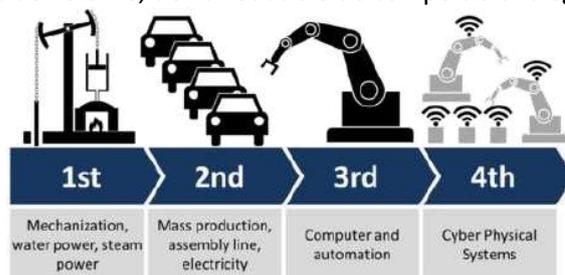


Figura 2. Tecnologias das revoluções indústrias

FONTE: PILGRAM, 2015

Já Indústria 4.0 é mais uma visão, do que uma definição específica, mas pode ser definida como em tempo real, de maneira inteligente e digital, conectar pessoas e equipamentos para o gerenciamento do processo de negócios e com a criação de valor em rede. (DOMBROWSKI et al., 2017).

A Indústria 4.0 representa a evolução do sistema embarcado para os *Cyber Physics Systems (CPS)*. Na I.4.0, sistemas embarcados, semântica da comunicação máquina-máquina, *Internet of Things (IoT)*, e tecnologias *CPS* integram o espaço virtual com o mundo físico. Com essas novas realidades, as indústrias *smart* estão surgindo para lidar com a complexidade da produção no ambiente *cyberphysical* (XU et al., 2018), e com enormes volumes de dados gerados, como nunca antes se havia visto, consequência da I.4.0, (PILGRIM, 2015). Para Singh, 2017 as ferramentas que dão base a Indústria 4.0 são *Big Data/ Big Data Analytics*, *CPS*, Robôs Autônomos, Simulações, Integração Horizontal, Integração Vertical, Integração de Engenharia de Ponta-a-Ponta (Figura 3), *IoT*, *Internet of Services (IoS)*, Nuvem, Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada e para assegurar que todo esses mecanismos funcionem, *Cybersecurity*.

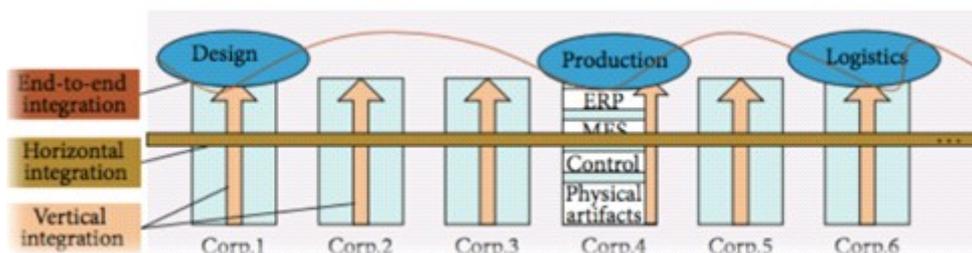


Figura 3. Diagrama das integrações verticais, horizontais e de ponta-a-ponta
 FONTE: SINGH, 2017

3. Metodologia

3.1 Lean como base para a Indústria 4.0

A mudança de denominação entre *Lean Automated* para Indústria 4.0, ainda é debatida dentro da indústria. A razão seria até que ponto o CPS e a automatização de robôs se adequam aos princípios do *Lean Production System* (SINGH, 2017). A I.4.0. pode não substituir o LPS, porém, a fim de implantá-la alguns fatores devem ser levados em consideração, como Kaizen, redução dos desperdícios, simplificação dos processos de manufatura, implantação gradual da automação, uso de estratégias flexíveis de automação, adaptação do processo produtivo ao produto para que um sistema automatizado projetado, sistema de *self-troubleshooting* (que seria após a identificação ou diagnóstico de um problema causado por alguma falha, consiste na determinação e na remediação das causas), automação integrada, um *global network* embarcado integrado via CPS, agendamento da produção (a fim de evitar estoque) e deve ser equipado com sistema de inspeção visual para qualquer defeito (ORR, 1997 apud SINGH, 2017). Esses pré-requisitos levam a uma produção otimizada, estoques baixos, processos operacionais simplificados, aumento da rotatividade dos estoques e alta qualidade (SINGH, 2017).

3.2 Indústria 4.0 completa o Lean

O termo *Jidoka* foi desenvolvido quando a Toyota ainda não tinha um sistema embutido de qualidade, então foi definido como a integração homem-máquina na redução de defeitos. Porém, com o avanço tecnológico criou-se um novo termo, de mesma pronuncia, *Jidoka*, o qual significa automação, que foi explicado como a automação que equivale a um humano, portanto é capaz de tomar decisões em todas as situações (SINGH, 2017).

LPS visa a melhoria contínua das empresas. Portanto, há o monitoramento e previsão das expectativas de mercado, das tendências tecnológicas, avalia suas principais competências, analisando, conduzindo e gerando simulações de cenários, além de garantir a competitividade por meio de inovações contínuas (CHEN, 2010 apud SINGH, 2017). Portanto, a adoção de novas tecnologias para manter competitividade é esperado, dentre elas estão as características da I.4.0, os quais são detalhados na tabela 1, que segue abaixo.

Tabela 1 – Tecnologias disponibilizadas pela I.4.0

Ferramenta	Definição
RFID (<i>Radio frequency identification</i>)	Conhecidos comumente como etiquetas empregadas na identificação e rastreamento de objetos de interesse, permitem, além da capacidade de identificação de cada item, o armazenamento e a recuperação local de características relevantes de cada item. (ZHOU; PIRAMUTHU, 2011)

<i>Augmented reality</i> (Realidade aumentada)	É o aprimoramento da percepção humana por meio da utilização de objetos virtuais, ou seja, as informações relevantes podem ser adicionadas diretamente ao campo visual do trabalhador, graças a plataformas móveis. (GORECKY et al, 2014)
<i>BigData</i>	<i>Big Data</i> é um grande banco de dados que contém informações úteis para a tomada de decisão, porém, este banco exibe como diferencial o fato de que estas informações são dinâmicas, ou seja, os resultados das análises variam em tempo real de acordo com as alterações externas. (VENTURELLI, 2016)
<i>Big Data Analytics</i>	Analytics aplicado em Big Data é o processo de examinar os dados para descobrir padrões escondidos, correlações desconhecidas e outras informações úteis que podem ser utilizadas para a melhor tomada de decisão. Através desta análise, cientistas de dados e outras pessoas podem analisar grandes volumes de dados e retornar informações relevantes. (SAS, 2017).
<i>Virtual reality</i> (Realidade virtual)	Realidade Virtual é uma tecnologia de interface capaz de enganar os sentidos de um usuário, por meio de um ambiente virtual, criado a partir de um sistema computacional. Ao induzir efeitos visuais, sonoros e até táteis, permite a imersão completa em um ambiente simulado, com ou sem interação do usuário. (TECHTUDO, 2017)
<i>CPS (Cyber physical Systems)</i>	Os sistemas ciber-físicos (<i>CPS</i>) constituem-se na fusão dos mundos físico e virtual, e podem ser entendidos como a integração da computação com os processos físicos, ou seja, computadores e redes incorporam, monitoram, e controlam os processos físicos e os realimentam com informações e dados. (HERMANN et al., 2015)
Integração Horizontal	Conecta através de sistemas <i>cyberphysical (CPS)</i> diferentes plantas distribuídas ao redor do mundo, cada uma responsável por uma etapa ou fase de um processo produtivo (BLOEM, 2014); em outras palavras, trata da digitalização envolvendo toda a cadeia de suprimentos, desde os fornecedores, passando pelos fabricantes e chegando até os clientes.
Integração Vertical	Busca conectar através de sistemas digitais as máquinas e os processos desde a matéria-prima ao consumidor final, de modo que a produção possa ser monitorada e acompanhada online e em tempo real. (BLOEM, 2014)
Manutenção Preditiva	A manutenção preditiva é um método aplicado com a finalidade de indicar as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam seu desgaste ou processo de degradação. Consiste em monitorar regularmente as condições mecânicas, eletrônicas, pneumáticas, hidráulicas e elétricas dos equipamentos e, adicionalmente, o rendimento operacional de seus processos. Como resultado desse monitoramento, observa-se um aumento dos intervalos dos reparos por quebras (manutenção corretiva) e dos reparos programados (manutenção preventiva), bem como um aumento de rendimento no processo, uma vez que estes estarão disponíveis por um tempo maior para a operação. (CYRINO, 2016)
<i>Smart Factory</i>	A fusão dos mundos virtual e físico através dos <i>CPS</i> e a consequente fusão dos processos técnicos e administrativos abrem caminho para a criação do conceito de <i>Smart Factory</i> . Além da automação, a palavra de ordem é flexibilização e otimização em tempo real, graças à conectividade. (SHARMA, 2016)
<i>Smart Product</i>	É uma entidade (objeto tangível, software ou serviço) projetado e feito para se auto organizar, para incorporar diferentes ambientes (inteligentes) ao longo do seu ciclo de vida, proporcionando maior simplicidade e maior interação, tendo um comportamento proativo, com interfaces naturais. (MUHLHAUSER, 2008)
<i>IoT (Internet of Things)</i>	A <i>IoT</i> consiste em conectar máquinas e produtos, através de dispositivos e sensores, como <i>RFID</i> , código de barras, <i>QR code</i> , <i>Bluetooth</i> , entre outros, à rede de computadores, possibilitando a automação e centralização do controle e produção. (ANDERL, 2014)
<i>IoD (Internet of Data)</i>	A <i>IoD</i> permite transferir e armazenar grandes quantidades de dados de forma adequada e fornece métodos de análise para interpretar os dados em massa. (ANDERL, 2014)

<i>IoS (Internet of Services)</i>	A <i>IoS</i> fornece uma base comercial e técnica, onde prestadores de serviços e consumidores formam redes de negócios para fornecimento e consumo de serviços. Conforme Cardoso (2009), hoje há uma clara transição de uma economia baseada na manufatura para outra baseada em serviços, e é aí que a <i>IoS</i> se estabelece num ecossistema fundamentado na web e na TI.
<i>Cloud Manufacturing (Manufatura em nuvem)</i>	A manufatura em nuvem consiste em um novo paradigma de fabricação baseado em redes, ou seja, utiliza-se da tecnologia de rede, da computação em nuvem, da computação de serviços e da capacidade de fabricação que podem ser gerenciados e operados de maneira inteligente e unificados para a fabricação de produtos seguros, confiáveis, de alta qualidade, baixo custo e sob demanda. (ZHANG et al., 2014)

3.3 Indústria 4.0 aumenta a eficiência do Lean

Sanders, 2016, diz que há a presença de uma correlação positiva entre o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0. Na tabela 2, apresenta um resumo dos desafios na implementação do *LPS* com os recursos já existentes na fábrica que podem ser solucionados através da I.4.0. Todos os problemas na implementação do *LPS* na perspectiva da integração têm uma solução nas tecnologias associadas a I.4.0. Por isso, adotando a I.4.0, as indústrias são capazes de se tornar *Lean* sem a constante consciência e persistência dos esforços de *striving-for-lean*, os esforços realizados pelas empresas para manter-se na filosofia *Lean* mesmo com os empasses tecnológicos encontrados.

Concepção, operação e manutenção de uma indústria manufatureira estão aumentando consideravelmente através da Indústria 4.0. Com o avanço dos sistemas de informação e de comunicação juntamente com as estruturas de operação do *Lean*, uma indústria tem potencial de expandir facilmente para novos horizontes. Na tabela 2 a seguir detalhamos as principais dimensões do *LPS*, os desafios associados à sua implementação e as possíveis soluções que podem ser obtidos pela adoção da I.4.0.

Tabela 2 – Correlação entre as desafios de implementação do *LPS* e as tecnologias do I.4.0
Fonte: Baseada na tabela SANDERS et al., 2016

Dimensões do <i>LPS</i>	Desafios da implementação do <i>LPS</i> na perspectiva da integração	Soluções proporcionadas pela I.4.0
<i>Supplier feedback</i>	Recursos e competências limitadas	Manufatura colaborativa
	Diferença no modelo de negócios, operações e nas informações das práticas de manutenção	Mecanismos de comunicação melhores Sincronização de informações
Entrega <i>JIT</i> por fornecedores	<i>Status</i> incompleto no transporte dos produtos	Identificação do item
	Incompatibilidade na quantidade dos produtos transportados	Rastreamento via <i>Wireless</i> dos produtos
<i>Supplier development</i>	Atrasos inesperados durante o transporte	Realocação <i>smart</i> do pedido
	Recursos e competências inadequadas Compatibilidade de equipamentos entre organizações	Padronização das interfaces Organização virtual – cooperação sinérgica
Envolvimento do Consumidor	Pouca flexibilidade para alteração de produto	Otimização dos períodos de “congelamento” de produto, ou seja, reduzir intervalos de tempo para alteração e incorporação de novos recursos ou modificações
	Relação entre as necessidades e as funções	Aplicação de QFD em larga escala
	Adquirir exatamente a necessidade do consumidor	Uso de <i>BigData Analytics</i>

Pull production	Rastreio impróprio da quantidade do material fornecido	Monitoramento de reabastecimento de material
	Mudanças no agendamento da produção	Acompanhamento da agenda e atualizações do <i>kanban</i>
Continuous flow	Erros na contagem do estoque	Acompanhamento em tempo real do estoque
	Escassez na capacidade	Subcontratação
	Sistema de controle centralizado	Tomadas de decisões descentralizadas
Redução do Setup-time	Adaptação do processo baseado em experiência humana	<i>Self-optimisation</i> e <i>machine learning</i>
		Comunicação produto-máquina
Manutenção Total Produtiva/ Preventiva	Nenhum controle sobre quebra de máquina	Comunicação homem-máquina
	Tempo de resolução de problemas desconhecido	<i>Avaliação Self-maintenance</i> Sistema de controle de manutenção preditiva
Statistical process control	Desconhecimento técnico dos operadores	Comunicação produto-máquina
	Incapacidade de acompanhar variações do processo	Melhoria na interface homem-máquina Acompanhamento do processo, integração e gestão
Envolvimento do empregado	Mecanismos impróprios de <i>feedback</i>	Dispositivos de <i>feedback</i> inteligente
	Práticas de avaliação de performance	Sistemas de suporte ao trabalhador
	Monotonia no trabalho	Interface homem-máquina aperfeiçoada

3.4 Indústria 4.0 muda os princípios do Lean

Ohno diz que os negócios estão conectados com o mundo exterior, atualmente *Lean experts* não são contra a utilizar automação, isso inclui as tecnologias 4.0, mas a quantidade de automação importa, pois deve se adequar ao LPS, o *design thinking*, o qual deve ser complexo e simples (HARRIS E HARRIS, 2008 apud. SINGH, 2017). A literatura já aborda o *Lean Production System* influenciado fortemente pela I.4.0 como *Digital Lean*, *Lean 4.0*. ou até mesmo *Smart Lean*. Na bibliografia revisada esses dois conceitos foram citados pelos autores Singh (2017), Dombrowski et al. (2015 e 2017), Döppler (2016), Kolberg e Zühlke (2016). Na tabela abaixo estão uma relação entre ferramentas *Lean* e da Indústria 4.0 que podem trabalhar juntas a fim de aumentar a eficiência de ambas.

Tabela 3. Matriz de impacto da Indústria 4.0 no *Lean Production System*

FONTE: Baseado em WAGNER, 2017

	I.4.0				M2M		HMI	
	Aquisição e processamento de dados							
Lean	Sensores e atuadores	Nuvem	Big Data	Analytics	Integração vertical	Integração Horizontal	Realidade Virtual	Realidade Aumentada
5S	a	A	a	a	a	a	b	c
Kaizen	a	B	c	c	c	c	c	c
JIT	b	B	c	c	c	b	a	b
Jidoka	a	C	c	c	b	b	a	a
Heijunka	b	b	c	c	c	b	b	a
Standardisation	b	c	c	c	b	b	c	c
Takt Time	b	a	c	c	c	c	a	a

Pull flow	b	a	a	a	c	c	a	a
Redução de gastos	a	a	b	c	c	c	a	a

a Baixo impacto da I.4.0. nos princípios do *Lean*

b Alto impacto

c Altíssimo impacto da tecnologia

M2M – Interação Máquina – Máquina

H2M – Interação Homem – Máquina

Singh, 2017, traz dois exemplos práticos onde as filosofias de *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0 se misturam tendo como resultado uma tecnologia derivada dos dois conceitos. O primeiro é o conceito do iBin, de 2013, na empresa alemã Würth Industrie Services GmbH & Co. KG – com a junção dos cartões Kanban, do *RFID* e da *Smart Factory*. O iBin utiliza câmeras, ao invés de sensores, as câmeras detectam o nível dos contentores, também podem realizar prévias da ordem de compra para o departamento de compras, tendo como resultado níveis de estoques adequados e ordens de compra agendadas de forma eficiente.

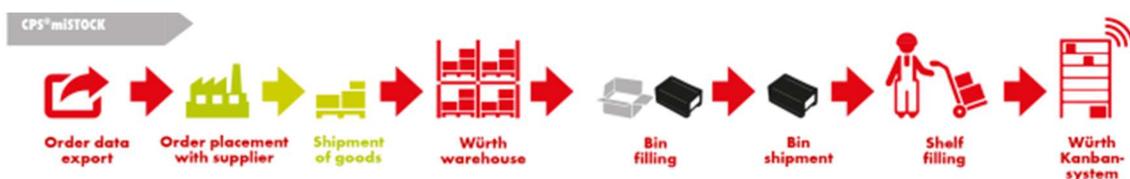


Figura 4. Sistema iBin

FONTE: WÜRTH INDUSTRIE SERVICE, 2019

O segundo exemplo, é na realidade de 2012, que surgiu da união de forças da fábrica de brinquedos Lego e da Universidade do Sul da Dinamarca para desenvolver uma nova tecnologia no formato de U, na área de montagem, denominada *Chaku Chaku lines*. O objetivo principal é sincronizar o operador e a máquina, a tarefa básica do sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP – Sistema Integrado de Gestão Empresarial) é transferido para o funcionário desta linha através por um sistema local de gerenciamento de pedidos.

4. Resultados

Os resultados dessa pesquisa foram obtidos a partir da pesquisa do termo exato “Lean 4.0” presente no corpo do texto de artigos, revistas e livros presentes em plataformas de pesquisa disponíveis *online*, no período de dez anos, ou seja, entre 2009 a 2019. Os resultados estão disponíveis na Figura 5, e pode-se constatar que mesmo o conceito da Indústria 4.0 sendo apresentado na *Hanovermesse* em 2011, o estabelecimento da relação entre o Lean e I.4.0 surge primeiramente por alemães em 2014, seguida de um crescimento desse termo na Europa, depois para o mundo. Já quando falamos de “Digital Lean”, esse termo já apresenta resultados desde 2009, com chineses principalmente e no ano de 2017 apresenta um grande crescimento em seus resultados, como mostra Figura 5.

A tabela 4 exibe os resultados detalhados da pesquisa por ano de publicação e autor, e considerando-se as diferentes bases de pesquisa utilizadas, ou seja, Google Acadêmico, Scopus, Web of Science e Emerald Insight.

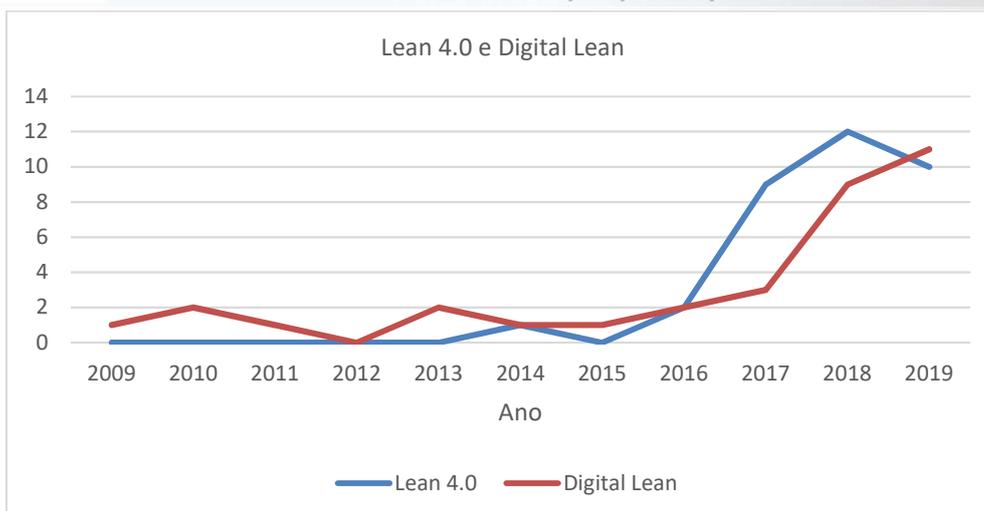


Figura 5. Resultado dos termos Lean 4.0 e Digital Lean

Tabela 4. Termo Lean 4.0 e Digital Lean nas bases de pesquisa – autores

Lean 4.0	Google Acadêmico	Scopus	Digital Lean	Google Acadêmico	Scopus
2014	Wildemann		2009	Zhang et al.	
2016	Tamás et al.		2010	Curran et al.	
	Quasdorff; Bracht			Cheutet et al.	
	Metternich et al. ^(s)		2011	Jin et al.	
	Dombrowski et al.		2013	Schut et al.	Wang et al.
	Cattaneo et al.		2014	Yungui et al. ^(s)	
	Malavasi; Schenetti		2015	Scheel et al.	
2017	Emig; Tschirschke		2016	Gao et al.	
	Roldán, A.			Lou et al.	
	Bearingpoint, G.		2017	Swaminathan; Meffert	Rojo Abollado et al.
	Negri et al.			Romero et al.	
	Enke et al. ^(s)			Hoellthaler et al. ^(s)	Guerriero et al.
	Mayr et al. ^(s)	Dombrowski; Richter		Romero et al. ^(s)	
	Enke et al. ^{(s) (w)}	Caldwell, E.		Powell et al. ^(s)	
	Lima, V.	Arcidiacono; Pieroni	2018	Feldmann; Ziegenbein	
2018	Powell et al.			Picasso, S.	
	Ketteler et al.			Gou et al.	
	González, J.			Bracht et al.	
	Raymann, R.			Moon et al.	
	Pizón et al.		2019	Štefanić et al.	Ghobakhloo; Fathi ^(e)
	Unterhofer, M.			Dreyer et al.	

2019	Rossini et al	Dombrowski et al. ^(w)	Romero et al.
	Parv et al.		Romero et al. ^(s)
	Gallone et al.		Romero et al.
	Adam et al. ^(s)		Romero et al.
	Golchev, R.		Parv et al.
	Kadir et al.		Štefanić et al.
	Montoro et al.		Rabelo et al.
	Abele et al.		Ivanov et al.
	Giaquinta; D'Arone		

^(s) O mesmo artigo também foi encontrado na plataforma Scopus

^(w) O mesmo artigo também foi encontrado na plataforma Web of Science

^(e) O mesmo artigo também foi encontrado na plataforma Emerald Insights

5. Conclusão

Esse trabalho teve como objetivo identificar a sinergia existente entre os conceitos de *Lean Production System* e Indústria 4.0, desde o surgimento deste em 2011, no momento em que o *LPS* foi a base para I.4.0, passando por momentos de transição como complemento para o Lean e, aumentando a eficiência do Lean e, por fim, a I.4.0 mudando os princípios do Lean. Para comprovar esta integração e interação, aonde Lean e I.4.0 se complementam, executou-se uma pesquisa bibliográfica que atestou que ao longo dos últimos 5 anos 34 artigos tratam deste assunto, por outro lado, foi detectado que outros 33 artigos tratam do Digital Lean, o qual, de acordo com alguns autores, pode ser considerado como um sinônimo do Lean 4.0, demonstrando assim que o Lean incorporou muitas dos princípios, ferramentas e técnicas da I.4.0.

Referências

ANDERL, R. (2014) **Industrie 4.0 – Advanced engineering of smart products and smart production**. Disponível em < [\(PDF\) Industrie 4.0 - Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production](#)> Acesso em: 20 out. 2019.

BLOEM, J. et al. (2014) **The Fourth Industrial Revolution: things to tighten the link between It and OT**. Disponível em < <http://www.fr.sogeti.com/globalassets/global/downloads/reports/vint-research-3-the-fourth-industrial-revolution>> Acesso em: 20 set. 2019

CARDOSO, J. et al. (2009) **Service Engineering for the Internet of Services**. Disponível em: < http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-00670-8_2#page-1> Acesso em: 20 set. 2019.

CYRINO, L. (2016) **Conceitos e aplicação da manutenção preditiva**. Disponível em: < <http://www.manutencaoemfoco.com.br/manutencao-preditiva>> Acesso em: 12 set. 2019.

DELLOITTE. (2015) **Industry 4.0 – Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies**. Disponível em: < http://www.industrie2025.ch/fileadmin/user_upload/ch-en-delloite-ndustry-4-0-24102014.pdf> Acesso em: 20 set. 2019.

DOMBROWSKI, U.; RICHTER, T.; KRENKEL, P. Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis. *Procedia Manufacturing*, v. 11, n. June, p. 1061–1068, 2017.

DOMBROWSKI, U.; RICHTER, T.; EBENTREICH, D. Auf dem Weg in die vierte industrielle Revolution. Ganzheitliche Produktionssysteme zur Gestaltung der Industrie- 4.0 Architektur. **zfo - Zeitschrift für Führung und Organisation** 03/2015 (84. Jg.) (2015), S. 157–63, 2015.

DÖPPLER, Karl Heinz (2016). **Herausgeber Lean Magazin: Lean 4.0 – das Unternehmen der Zukunft!** Disponível em: <http://www.leanmagazin.de/351-kommentare/1136-lean-4-0-das-unternehmen-der-zukunft.html>. Abrufdatum 12.02.2016.

GORECKY, D. et al. (2014) Human-machine- interaction in the industry 4.0 era. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6945523?reload=true> > Acesso em: 20 set. 2019.

KAGERMANN, H. et al. (2013) Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Disponível em: <http://thuvienso.dastic.vn:801/dspace/handle/TTKHCNDaNang_123456789/357> Acesso em: 19 jun. 2019.

KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. **Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies**. In: **IFAC-PapersOnLine 48-3 (2015) (2015), S. 1870–75, 2015 Lean Automation Project**. Disponível em <<http://www.project-leanautomation.eu/>>. Acessado em 01 set. 2019.

LEÓN, H; CALVO-AMODIO, J. Towards Lean for sustainability: Understanding the interrelationships between lean and sustainability from a system thinking perspective. **Journal of Cleaner Production** 142 (2017) 4384-4402, 2017.

MUHLHAUSER, M. Smart Products: An Introduction. In: **Constructing Ambient Intelligence**. Springer Berlin Heidelberg. p. 158-164, 2008.

SAS (2017). **Big Data Analytics. O que é, e porque é importante**. Disponível em: <https://www.sas.com/pt_br/insights/analytics/big-data-analytics.html> Acesso em: 3 set. 2019.

PILGRIM, G.; Q. S. **SMART FACTORY SMART QUALITY MANAGEMENT: QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS**, 2015.

SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 3, p. 811, 2016.

SHARMA, A. (2016) **Smart Factory**. Disponível em: <<https://industrie4.0.gtai.de/INDUSTRIE40/Navigation/EN/Topics/Industrie-40/smart-factory.html>> Acesso em: 12 set. 2019.

SINGH, K. **Lean Production in the era of Industry**. 2017.

TECHTUDO (2017). **Realidade virtual**. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/09/o-que-e-realidade-virtual-entendamelhor-como-funciona-a-tecnologia.html>>. Acesso em: 21 set. 2019.

VENTURELLI, M. (2014) **Indústria 4.0 – O protocolo profinet e a indústria 4.0**. Disponível em: <<https://mhventurelli.wordpress.com/2014/09/02/industria-4-0/>> Acesso em: 12 set. 2019.

Würth Industrie Service. Disponível em <https://www.wuerth-industrie.com/web/media/pictures/wuerthindustrie/cteilemanagement/milogistics/MISTOCK_EN_re_s_wl2_648_acc.png>. Acesso em: 01 set. 2019

XU, L. DA; XU, E. L.; LI, L. **Industry 4.0 : state of the art and future trends**. v. 7543, p. 0–22, 2018.

YIN, Y.; STECKE, K. E.; LI, D. **The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0**. *International Journal of Production Research*, v. 7543, n. November, p. 1–14, 2017.

WAGNER, T; HERRMANN, C; THIEDE, S. Industry 4.0 impacts on lean production system. **The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems, procedia CIRP 63 (2017) 125-131**, 2017.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A Máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro, 1992.

ZHANG, L.; et al. (2014) **Cloud manufacturing: A new manufacturing paradigm**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/241709205_Cloud_manufacturing_A_new_manufacturing_paradigm>. Acesso em: 12 set. 2019.

ZHOU, W.; PIRAMUTHU, S. (2011) **Manufacturing with item-level RFID information: From macro to micro quality control**. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527311004701>> Acesso em 21 set. 2019.